

La tecnología del gas a través de su historia



Joan Carles Alayo
Francesc X. Barca

Historia
del Gas

6



La tecnología del gas a través de su historia



Joan Carles Alayo
Francesc X. Barca

Historia
del Gas

6



Historia del Gas

6. La tecnología del gas a través de su historia

Autores

Joan Carles Alayo i Manubens

Francesc X. Barca i Salom

Càtedra UNESCO de Tecnologia i Cultura

Universitat Politècnica de Catalunya

“Reservados todos los derechos. Está prohibido, bajo las sanciones penales y el resarcimiento civil previstos en las leyes, reproducir, registrar o transmitir esta publicación, íntegra o parcialmente por cualquier sistema de recuperación y por cualquier medio, sea mecánico, electrónico, magnético, eletroóptico, por fotocopia o por cualquier otro, sin la autorización por escrito de la Fundación Gas Natural”.

Edita

Fundación Gas Natural Fenosa

Plaça del Gas, 1

Edificio C, 3.^a planta

08003-Barcelona, España

Teléfono: 93 402 59 00

Fax: 93 402 59 18

www.fundaciongasnaturalfenosa.org

1.^a edición, 2011

ISBN: 978-84-615-4279-6

Depósito legal:

Impreso en España

Índice

Prólogo de Pedro-A Fábregas	9
1. Introducción al gas y su tecnología	17
1.1. Del gas de hulla al gas natural	17
2. Orígenes y desarrollo histórico del alumbrado por gas	33
2.1. El espíritu del carbón	33
2.2. El conocimiento teórico del gas	36
2.3. Aplicaciones prácticas pioneras	37
2.4. Los inicios del gas para la iluminación	39
2.5. Aplicación del gas al alumbrado público	44
2.6. Experiencias pioneras del gas de alumbrado en España	49
3. El proceso de producción de gas de hulla	55
3.1. La destilación de la hulla	55
3.1.1. Las retortas utilizadas por Murdoch	57
3.1.2. Las dobles retortas	59
3.1.3. Las retortas refractarias	63
3.1.4. La combinación de retortas refractarias y de fundición	65
3.1.5. Las cabezas de retorta	66
3.1.6. Los barriletes	68
3.1.7. Los extractores	69
3.2. La depuración física y la depuración química	72
3.2.1. El condensador	72
3.2.2. Los purificadores	75
3.2.3. Las columnas de coque o Scrubbers	79
3.3. Los hornos	82
3.3.1. El horno de Anderson con hogar de alquitrán	83
3.3.2. Los hornos de recuperación	84
3.4. Perfeccionamiento de la producción de gas	90
3.4.1. La mecanización de la carga y descarga	90
3.4.2. Los hornos de retortas inclinadas y verticales	92
3.4.3. Los hornos de retortas verticales con destilación continua	95
3.4.4. El horno de Woodall-Duckham	95

	Nº página
3.4.5. El horno de Glover-West	97
3.4.6. Los hornos de cámaras	99
3.4.7. Los hornos de cámaras verticales de Dr. Otto	102
3.5. El almacenaje del gas	105
3.5.1. Los gasómetros	107
3.5.2. El gasómetro hidráulico	109
3.5.3. El gasómetro telescópico	114
3.5.4. El gasómetro de Claudio Gil	115
3.5.5. Los gasómetros secos	117
3.5.6. El gasómetro MAN de Sant Martí de Provençals	120
4. Otro tipo de gases combustibles	125
4.1. El gas de madera	126
4.2. El gas de aceite	129
4.3. El gas de agua	132
4.3.1. Proceso de Lowe para fabricar gas de agua	135
4.3.2. Otros gasógenos para fabricar gas de agua	136
4.4. El gas de aire	139
4.4.1. El gasógeno Siemens	143
4.5. Gasógenos de gases mixtos	145
4.5.1. El gasógeno Arbós	146
4.5.2. Gasógenos de inyección	149
4.5.3. Gasógenos de aspiración	152
4.5.4. Nuevas mejoras en los gasógenos	155
4.6. El gas de hulla y el gas de agua	158
5. Nuevos métodos de producción de gas	164
5.1. Introducción	164
5.2. La gasificación del carbón	166
5.2.1. La gasificación subterránea	170
5.2.2. La gasificación en planta	173
5.2.3. El proceso Lurgi	174
5.2.4. El proceso Winkler	177
5.2.5. El proceso Koppers-Totzek	177
5.2.6. Técnicas de gasificación para obtener gas natural de síntesis	177
5.3. Bases tecnológicas del uso de los hidrocarburos del petróleo	179

	Nº página
5.3.1. Procesos básicos de la transformación de los hidrocarburos en gas	185
5.3.2. Los procesos Kall y Semet-Solvay	188
5.3.3. El proceso ONIA-GEGI	190
5.3.4. El proceso SEGAS	194
5.3.5. El proceso ICI de “Reforming” continuo	196
5.3.6. El proceso de obtención de Gas Rico Catalítico (CRG)	198
5.3.7. El proceso Distrigaz	198
5.3.8. Obtención de gas natural a través del procesado de hidrocarburos	201
5.4. La utilización en España de las nuevas tecnologías	203
5.4.1. Las plantas de Barcelona	208
5.4.2. La planta de Madrid	214
5.5. Gases de transición	219
6. El sistema de distribución del gas manufacturado	225
6.1. Las redes de distribución ramificadas y malladas	226
6.2. Las tuberías	233
6.2.1. Las uniones de tuberías	237
6.3. La colocación de los tubos	243
6.3.1. Sustitución o prolongación de la tubería	246
6.3.2. Mantenimiento de las tuberías, fugas y obstrucciones	247
6.4. Evolución de la red de distribución	248
6.4.1. Control de fugas	257
6.5. Los reguladores	260
6.6. Los contadores de gas	266
6.6.1. Contadores de fábrica	268
6.6.2. Contadores de abonado	268
6.7. Los contadores hidráulicos	271
6.7.1. Tipos de contadores hidráulicos	272
6.7.2. Contadores de pago previo	274
6.8. Los contadores secos	276
6.9. Los contadores de aceite	279
6.10. El contador de Catalana de Gas	281
7. Utilización del gas manufacturado	289
7.1. La iluminación con gas	289
7.1.1. Antecedentes de la iluminación	289

	Nº página
7.1.2. Los primeros mecheros	291
7.1.3. El mechero Argand	292
7.1.4. Los mecheros de chorro múltiple	293
7.1.5. El mechero de recuperación	294
7.1.6. Otros mecheros de recuperación	296
7.2. La iluminación por incandescencia	297
7.2.1. El mechero Bunsen	299
7.2.2. El proceso Auer von Welsbach	301
7.2.3. El mechero Albo-carbón	303
7.2.4. Otros mecheros de incandescencia	304
7.2.5. Las farolas de gas	307
7.2.6. Los sistemas de encendido del alumbrado público	310
7.3. Los usos del gas para cocinar	312
7.3.1. Los fogones	312
7.3.2. Las cocinas	316
7.3.3. Las grandes cocinas de gas	319
7.4. La calefacción con gas	323
7.4.1. Las chimeneas	324
7.4.2. Los caloríferos o estufas	327
7.4.3. Los radiadores	329
7.4.4. Los calentadores	331
7.4.5. Aplicación del gas para la calefacción central	335
7.5. Algunos usos del gas en talleres, laboratorios e industrias	339
7.5.1. Algunos usos de gas para los talleres y laboratorios	340
7.5.2. Algunos usos industriales del gas	342
8. Tecnología y desarrollo del gas natural	347
8.1. El gas natural	347
8.1.1. El gas natural en España	355
8.2. Yacimientos y técnicas de extracción	362
8.2.1. Los yacimientos españoles	364
8.3. Tratamiento del gas	367
8.4. Licuefacción	370
8.4.1. Técnicas de licuefacción	374
8.5. Transporte de gas natural licuado	380

	Índice
	Nº página
8.5.1. Tecnología de los buques metaneros	386
8.5.2. Flota de metaneros utilizada en España	391
8.6. Plantas de gas natural licuado	396
8.6.1. Plantas de gas natural licuado españolas	402
8.7. Almacenamiento del gas natural	407
8.7.1. Almacenamientos subterráneos españoles	413
8.8. Gasoductos de transporte de gas natural	415
8.8.1. Los gasoductos españoles	419
8.9. La tecnología en el gasoducto	423
8.10. La lucha contra la corrosión	431
8.10.1. Construcción de gasoductos submarinos	434
8.10.2. El gasoducto del Magreb	439
8.11. Estaciones de compresión y de regulación	442
8.12. Las plantas satélites	448
9. Estructuras de difusión y control del gas natural	453
9.1. El gas natural como combustible	453
9.1.1. La odorización del gas	457
9.1.2. Combustión y quemadores	459
9.1.3. La conversión de gas ciudad a gas natural	462
9.2. La red de distribución de gas natural	472
9.2.1. La red de alta presión	475
9.2.2. La red de media presión	480
9.2.3 La red de baja presión	484
9.3. El control de la red de gas canalizado	493
9.3.1. La regulación de la presión	496
9.3.2 Medida y contaje del gas natural	498
Bibliografía	505
Índice de cuadros	523
Índice de imágenes	526



Prólogo

Los esfuerzos desarrollados en los últimos años por la Fundación Gas Natural Fenosa, para ir recuperando la historia de la industria del gas en España han alcanzado ya un cierto nivel de madurez después de cinco años con otros tantos títulos publicados, que han permitido orientar trabajos de investigación, y también atraer nuevos investigadores hacia está interesante y poco conocida temática. Los libros sobre la historia de la industria del gas en Alicante, Córdoba y Galicia, se han visto complementados con la historia de la familia que creó la actual Gas Natural Fenosa en 1843, y también por la curiosa historia de la fábrica de gas del Palacio Real de Madrid.

Sin embargo, parecía que aparte de seguir en esta línea y de ampliar progresivamente también la temática a temas eléctricos, hacía falta algo más. Normalmente los historiadores dedicados a estas temáticas provienen de los campos de la historia económica o de la historia contemporánea, y una de las dificultades de la historia del sector es el elevado componente tecnológico de sus actividades, con importantes y continuas inversiones, y permanente adaptación a nuevas tecnologías y procesos técnicos, en búsqueda de mejora de la calidad de la producción, la reducción de costes, la mejora del servicio, o el aumento de la competitividad, entre otros elementos.

Para intentar avanzar en la ayuda y soporte a los nuevos historiadores, se ideó la posibilidad de realizar un libro de referencia que permitiese presentar la evolución de la tecnología aplicada a la industria del gas desde sus inicios a finales del siglo XVIII hasta la actualidad, permitiendo

facilitar el conocimiento de los avances tecnológicos y la lógica de su introducción y difusión en el país en el contexto del desarrollo tecnológico global. El empeño era realmente difícil y para ello se buscaron auténticos especialistas en historia de la ciencia y de la técnica, suscribiéndose en el año 2007 un convenio con la Universitat Politècnica de Catalunya para la realización del ambicioso proyecto, cuya supervisión se encargó a Antoni Roca, coordinador de la Cátedra Unesco de Técnica y Cultura, y que ha sido realizado por los autores Joan Carles Alayo y Francesc X. Barca, miembros de la Cátedra y del Centro de Investigación de Historia de la Técnica “Francesc Santponç Roca”.

El trabajo de investigación ha sido largo, duro y laborioso pero la indudable experiencia y calidad de los autores, con trabajos y publicaciones realizados de alto nivel, ha permitido la creación de un libro de claro interés y novedad que permite presentar de forma conjunta los problemas y soluciones tecnológicas que se han ido planteando y resolviendo en la industria del gas a nivel global, y asimismo las adaptaciones e introducciones en España, pero también, y con énfasis, las aportaciones de los expertos y técnicos españoles, y evidentemente todo ello, a lo largo de muchos años.

Sin embargo, la historia empresarial, y la historia de la tecnología de un sector industrial como el del gas, pueden contemplarse desde diferentes prismas:

- Desde una visión negativa, como lo planteaba en 1916, Henry Ford en el Chicago Tribune, cuando indicaba: “La

historia es más o menos un absurdo. Es tradición. No queremos la tradición. Queremos vivir en el presente y la única historia que tiene un valor insignificante es la historia que nosotros hacemos hoy”¹, es decir, se planteaba la historia como algo que dificultaba la evolución y la permanente adaptación a nuevas realidades.

- También puede aportarse una visión más positiva como la Jerzy Topolski que indicaba: “Sólo cuando abarcamos una disciplina dada como un todo histórico, es decir, cuando la abordamos como un sistema que sufre cambios constantes, podemos advertir la dialéctica de su desarrollo y sus problemas específicos. Esto sacará a relucir también las tendencias del desarrollo de esa disciplina”², en esta visión la historia lejos de ser un lastre es lo que nos permite escudriñar desde una mejor perspectiva el futuro o futuros posibles.

Sin embargo, para la industria del gas, la historia nunca ha sido negativa, ni ha producido anquilosamiento en su evolución, es una industria que fue inventada para alumbrar con gas de hulla las ciudades, que cuando apareció la electricidad compitió con ella construyendo centrales eléctricas térmicas e hidráulicas, pero que finalmente tuvo que buscar nuevos usos a su producto, básicamente cocinar y calentar agua y edificios, para lo que tuvo que convencer a los ciudadanos de que eran aplicaciones útiles y que aportaban bienestar y confort.

También cuando el eje energético del mundo pasó del carbón al petróleo, se adaptó a un cambio fundamental de materias primas

y de procesos de producción, debiendo buscar nuevos clientes para colocar la mayor capacidad de producción de sus nuevas fábricas. Finalmente con la introducción del gas natural, las fábricas desaparecieron y con ellas muchos años de historia, pero debieron afrontarse nuevos retos tecnológicos y de mercado, el tendido de grandes gasoductos, terrestres y luego también submarinos, todo el increíble avance de las técnicas criogénicas y de las plantas de licuefacción y de regasificación, nuevamente la generación eléctrica con las centrales de ciclo combinado a gas natural, el acceso a los mercados industriales de calidad, o las aplicaciones de gas natural vehicular en automoción. La flexibilidad y la capacidad de adaptación de la industria ha sido fundamental, pocos sectores son más antiguos y siguen en actividad, y menos aún con crecimientos importantes y continuados, y con un relevante ímpetu y dinamismo de futuro.

Pero esta vivencia y este desarrollo no habrían sido posibles, sin los hombres y los técnicos de la industria. Cuando empezó el gas en España, no existían escuelas de ingenieros, ni prácticamente enseñanzas técnicas en las Universidades, tampoco existían experiencias anteriores de desarrollo de redes urbanas que llegasen a los domicilios y comercios aportando un servicio energético. Todo, prácticamente todo, se tuvo que inventar.

Primero se producía el gas donde se consumía, luego se pensó en trasladarlo de un sitio a otro en marmitas, para finalmente inventar el tubo, que al principio, no se sabía fabricar y se aprovechaban cañones de fusil, de ahí la denomi-

¹ “History is more or less bunk. It’s tradition. We don’t want tradition. We want to live in the present, and the only history that is worth a tinker’s damn is the history that we make today”

² TOPOLSKY, Jerzy (1982) Metodología de la historia. Madrid: Ediciones Cátedra, p.59

nación catalana de tubería: “canonada” (que significa hecha con cañones). Se tuvieron que ir inventando aparatos y procesos para depurar el gas, que no hiciese mal olor, como estimular la luminosidad o la potencia calorífica según los tiempos y los usos.

También se debieron inventar el gasómetro que permitía adaptar la continuidad de la producción a las oscilaciones del consumo, con la aportación ya en el siglo XIX de un español, Claudio Gil, reconocida en la literatura inglesa de la época.

Otro problema era como contratar con los clientes y como saber su consumo, primero se contrataba por horas y pasaba el “espitero” para abrir y cerrar el gas a las horas fijadas. Pero pronto Samuel Clegg un técnico inglés inventó el primer contador, aparato que evolucionó en múltiples mecanismos y conceptos. También aquí la tecnología española nos dejó el contador CGE desarrollado por Catalana de Gas y Electricidad en los años cincuenta del siglo XX.

Cuando el gas empezó a popularizarse en el siglo XIX, el construir una fábrica en cada municipio empezó a cuestionarse, y en el caso de municipios cercanos se ideó construir una fábrica en el municipio mas grande y hacer canalizaciones al resto de municipios de la zona, en definitiva, se tuvo que inventar la función transporte para conseguir ahorro de costes e inversiones con las correspondientes sinergias. Parece que el primer caso de aplicación, según la asociación de técnicos francesa, la conocida ATG, fue el desarrollado por La Propagadora del Gas en la comarca del Maresme, donde desde las fábricas de Badalona y Premià de Mar se atendían a todos los municipios de la zona. Esa situación de pueblos cercanos con buena actividad económica, ya había llevado a que en la misma zona se construyese el primer ferrocarril de la península, el Barcelona-Mataró, así como

ya en el siglo XX, que fuera la zona donde se puso en marcha la primera autopista de peaje del país.

También en esta historia ha habido momentos difíciles, como los de la postguerra civil, los años cuarenta del siglo XX, donde debía producirse gas –estamos aún en la época del carbón– pero las instalaciones industriales eran antiguas, no había dinero para actualizarlas, y tampoco existían los materiales necesarios debido a la política de autarquía económica del país, adicionalmente en el caso de Barcelona por ejemplo, las fábricas habían sido bombardeadas repetidamente, y además el carbón era dedicado prioritariamente a la red de ferrocarriles, y no a las fábricas de gas. En esta situación, para producir gas se dependía absolutamente de la capacidad de los ingenieros y técnicos de las fábricas, que con su habilidad e imaginación producían un gas evidentemente de bajo poder calorífico y en cantidades inferiores a las necesarias, pero destilando madera, trapos, huesos de aceituna, etc.

Debe remarcarse que en los años sesenta del siglo XX, España, que llevaba un indudable retraso respecto a Europa, realizó un gran avance –gracias básicamente al empuje de un joven ingeniero de caminos, Pere Duran Farell– con la implantación en un plazo de sólo seis años de dos cambios trascendentes de tecnología, pasar de producir gas manufacturado con carbón a producirlo con naftas (1963) y posteriormente el inicio del suministro de gas natural directo ya sin necesidad de fábricas (1969), lo que representó evidentemente un esfuerzo financiero, pero también tecnológico de primer orden, para pasar de las fábricas de carbón existentes desde siempre a un mundo del futuro donde el gas natural ya no requería fábricas, pero que para su crecimiento

y expansión requería avances y énfasis en la construcción y control de las redes.

En este contexto –si se me permiten unas vivencias personales de esta época, relacionadas con la modernización del diseño de las nuevas canalizaciones y los inicios del control de todo el sistema de redes en funcionamiento– recordar que en 1962 Catalana de Gas y Electricidad había instalado el primer ordenador de España, un IBM 1401, dedicado desde sus inicios a realizar informáticamente actividades de gestión, como contabilidad, nóminas, facturación, etc. Pues bien, en 1969 se realizó el primer programa de ordenador de España para cálculo de redes ramificadas de gas³, el año siguiente se adquiría un programa de cálculo de redes malladas por el método de Hardy-Cross a una empresa suiza denominada Electrocalcul, prefiriéndolo al de la empresa canadiense Consumer's Gas⁴, y se visitaban las instalaciones del dispatching con ordenador de la British Gas en Southampton, en 1971 se adquiría la primera calculadora programable y con memoria de la marca WANG en España, antecesora de los primeros PC's, solo que con diez años de adelanto⁵, máquina que fue dedicada al cálculo de redes ramificadas finalmente al siguiente año⁶.

La progresiva implantación del gas natural en las zonas en que existía gas ciudad también obligó a inventar nuevos procesos, como el de cambio de gas, con actuaciones sobre todas las redes, las juntas de conexión de las tuberías,

los aparatos de utilización y sus inyectores. En definitiva, la realización sobre el terreno de infinidad de operaciones, si se quiere elementales, pero que al realizarse a millares en un tiempo limitado comportaban una elevada complejidad logística.

El crecimiento del sector fue importante pero limitado hasta que a partir de la firma en 1985 del Protocolo de Intenciones para el Desarrollo de la Industria del Gas en España, que fué suscrito por el Gobierno de España y todos los intervinientes en el sector se crearon las condiciones para avanzar en la implantación del gas natural en el país. En los últimos 25 años el desarrollo del sector del gas natural en España ha sido importantísimo, en parte por un avance espectacular de la implantación territorial en zonas donde nunca había habido suministro de gas, y también por los nuevos usos del gas natural dadas sus características de facilidad de regulación, capacidad de hibridación con las denominadas energías renovables y sus evidentes características de ser la energía fósil más respetuosa con el medio ambiente. Toda esta fase de crecimiento también ha planteado nuevos escenarios tecnológicos, que junto con la liberalización del sector ha dado lugar a un sector dinámico, con capacidad de respuesta y preparado para los retos del futuro.

Para concluir me parece interesante reflexionar sobre cómo la historia del gas es la historia de una industria donde han sido importantes tanto las personas, los buenos profesionales, y los

³ FÁBREGAS, Pedro-A.; ROCA, Ramón; SUST, Jordi (1969) Cálculo de redes ramificadas. Archivo Pere-A. Fàbregas (APF)

⁴ FÁBREGAS, Pedro-A. (1970) Análisis comparación ofertas Electrocalcul y Consumer's Gas. APF

⁵ FÁBREGAS, Pedro-A. (1971) Estudio calculadoras electrónicas. APF

⁶ FÁBREGAS, Pedro-A. (1972) Manual cálculo redes ramificadas WANG 700B y 702. APF

técnicos preparados, pero también la visión empresarial.

En los muy primeros inicios del gas, William Murdock, un técnico escocés, consiguió en 1792 iluminar su casa en Redruth con gas producido a partir de carbón, siendo el inicio del gas manufacturado en la Gran Bretaña y en el mundo. Murdock trabajaba para Boulton & Watt, la empresa establecida por James Watt, para explotar sus patentes, principalmente la de mejora de la máquina de Newcomen, que dio lugar a lo que modernamente hemos conocido como máquina de vapor.

En los años siguientes, Murdock intentó presionar al hijo de Watt, James Watt junior, para patentar su invento, pero no consiguió que le hiciese caso, pues éste le decía que ya estaba defendiendo los derechos de la patente de su padre que estaba a punto de vencer y que esto le costaba mucho tiempo y dinero. El propio James Watt jr. escribía: “Informé al Sr. Murdock de que no prosiguiese con sus experimentos por el momento, hasta que se hubiese decidido la situación en relación con la máquina de vapor, y hasta queuviésemos la ocasión de considerar el tema con mayor conocimiento. Murdock asintió, y no se hizo nada hasta 1801”⁷.

Sin embargo algo cambio en 1801, como prosigue James Watt jr.: “Al final de aquel año mi hermano fue a París; y me escribió una carta

diciéndome que si nos proponíamos hacer algo con el alumbrado del Sr. Murdock, no debíamos perder tiempo; pues había oído que un Francés de nombre Lebon estaba intentando aplicar el gas obtenido de la destilación de madera a propósitos similares”⁸. Como consecuencia de todo lo anterior, de forma casi inmediata, ya en 1802, se puso en marcha la iluminación de la fábrica de Mr. Boulton⁹.

Sin embargo, en la presentación de Lebon en París en 1801 también estaba un alemán, Frederick Albert Winsor o Winzler, que intentó comprar equipos a Lebon en 1802, pero no lo consiguió. Lebon que producía gas a partir de madera murió pronto, pero Winsor en 1804 ya estaba en Londres presentando experimentos de alumbrado con gas. En los años siguientes, Murdock fue realizando algunas instalaciones para iluminar por gas diferentes fábricas, mientras Winsor promocionaba una nueva y sugerente idea, el alumbrado público, es decir, no hacer una fábrica en cada sitio en el que se quería instalar alumbrado, sino hacer una fábrica que suministrase a toda una ciudad o parte de ella.

Finalmente Winsor consiguió crear en 1812 en Londres la primera compañía de gas del mundo para proveer alumbrado público con gas producido a partir de carbón, la “Gas Light and Coque Company”¹⁰, creando una nueva concepción de cadena de valor empresarial.

⁷ “I advised Mr. Murdock not to prosecute his experiments for the present, until the question respecting the steam-engine had been decided, and until we had an opportunity of considering the subject more maturely. Murdock acquiesced, and nothing was done until 1801.”

⁸ “At the end of that year my brother went over to Paris; and he wrote me a letter telling me that if we intended to do anything with Mr. Murdock’s light, no time should be lost; because he had heard that a Frenchman of the name of Lebon was at the same period endeavouring to apply the gas obtained from the distillation of wood to similar purposes.”

⁹ HUNT, Charles (1907) A History of the introduction of Gas Lighting. Londres: Walter King, p.49

¹⁰ WILLIAMS, Trevor I. (1981) A History of the British Gas Industry. Oxford: University Press, p. 9

En definitiva, la industria aparece a nivel mundial, por sucesivas interrelaciones de diferentes planteamientos que permitían construir, crear, avanzar.

- Tres personas: un escocés, un francés y un alemán
- Dos tecnología destilación de carbón o de madera
- Dos segmentos de mercado: fábricas para el alumbrado de factorías industriales o fabricas para el alumbrado público

Diferentes estrategias y conocimientos que permiten avanzar en el desarrollo de las tecnologías y en la satisfacción de las necesidades de la sociedad desde planteamientos de colaboración o de competencia.

En España, la extremada relación de la tecnología y la industria del gas entronca desde sus inicios con los conocidos experimentos de Jose Roura en las escuelas de Llotja de la Junta de Comercio de Barcelona en 1826. Roura era un químico de Sant Feliu de Guixols formado en Francia.

José Roura también era miembro de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona, creada para el fomento de la ciencia en el siglo XVIII, pero que mantenía viva la tradición de aceptar entre sus miembros a los científicos y sus experiencias, pero también a los artesanos que construían los aparatos necesarios para los primeros, de ahí su nombre que reúne las ciencias y las artes, en su sentido original de artista o artesano, como sinónimo de persona que desarrolla un oficio.

Pero es que cuando en 1850 el Gobierno crea las escuelas industriales, inicio de las enseñanzas técnicas en el país, la de Barcelona se configura básicamente con las escuelas de la Junta de Comercio que le son transferidas en bloque. El primer director de la nueva Escuela Industrial de Barcelona designado el año siguiente será el propio Roura, coincidiendo con la inauguración oficial de la Escuela, que utilizaba los espacios del antiguo convento de Sant Sebastià¹¹.

Posteriormente, ya en 1860, la Escuela Industrial se transformará en la Escuela Superior de Ingenieros Industriales de Barcelona, y los ingenieros industriales conseguirán sus dos primeras atribuciones profesionales, una de ellas, otorgada por Real Orden de 28 de marzo de 1860, será la verificación de contadores de gas¹², religándose así desde sus inicios de forma permanente los expertos y la industria.

La tecnología de la industria del gas en una perspectiva histórica ha evolucionado mucho, y con una gran incidencia de los propios técnicos del sector, mayor que en otras actividades o sectores, quizás por la especificidad de los procesos, la limitación cuantitativa del número de fábricas, o por la dificultad de administrar una fábrica de gas con recursos limitados de inversión y de materias primas, y probablemente de forma muy importante, por la no competencia entre las diferentes empresas que administraban concesiones geográficamente separadas, todo ello dio lugar a una gran colaboración entre los técnicos de las diferentes fábricas, tanto a nivel de España como internacional,

¹¹ FÀBREGAS, Pedro-A. (1993) Un científico catalán del siglo XIX: José Roura y Estrada (1787-1860). Enseñanzas técnicas y alumbrado de gas en la modernización del país. Barcelona: Gas Natural SDG, S.A., Enciclopèdia Catalana, p.105

¹² *Ibidem*, p.110 y 111

con asociaciones nacionales de técnicos que acabaron constituyendo la International Gas Union (IGU) en 1931 como organismo global, dándose la circunstancia de que fue la primera asociación mundial de expertos técnicos de un sector. Actualmente aún en un mundo en competencia la IGU agrupa a expertos de 73 países, entre ellos España, que figura representada por la Asociación Española de Gas (SEDIGAS) constituida en 1970.

Para evitar duplicidades en el libro no se han tratado temas vigentes hoy en día, y que ya han sido tratados en otras publicaciones de la Fundación, relativos a tecnologías y utilidades novedosas del gas natural, como: la generación eléctrica con ciclos combinados a gas natural, el gas natural vehicular, la microco-generación, o la hibridación de gas natural con las energías renovables, entre tantos otros. Tampoco se han tratado líneas de desarrollo que van apareciendo y que indudablemente plantearan con fuerza un nuevo futuro para el gas natural como el shale gas, o en general, el gas natural no convencional que precisamente por su novedad requerirán publicaciones y trabajos más específicos.

Debo expresar mi agradecimiento a todos los que han hecho que este libro sea posible, y muy especialmente a los autores Juan Carles Alayo y Francesc X. Barca sin cuyo ímprobo trabajo y dedicación no podíamos haber conseguido el resultado, y a Antoni Roca, la Cátedra Unesco de Técnica y Cultura, y a la Universitat Politècnica de Catalunya por apoyar la utilidad de un trabajo ciertamente enciclopédico sobre la tecnología del gas.

No puedo terminar sin un emocionado recuerdo para los ingenieros del gas que conocí hace muchos años, alrededor de 1972, en la Subdirección General de Planificación de la

Catalana de Gas y Electricidad, S.A., y que me iniciaron y me hicieron interesar en los temas técnicos y tecnológicos como una parte indudablemente necesaria e imprescindible en el quehacer diario y en la construcción de futuro de una empresa de gas. Gracias Pedro Berdonces, Josep Bou, Josep Mata, Ramón Roca, Josep M. Roqueta, Manuel Márquez

Esperamos que esta nueva publicación permita conocer mejor la tecnología histórica del sector del gas, aportando su conocimiento y valoración a las nuevas realidades.

Pedro-A. Fábregas

Director General
Fundación Gas Natural Fenosa

www.fundaciongasnaturalfenosa.org



1. Introducción al gas y su tecnología

Este libro trata de los gases combustibles que derivan de la descomposición de materiales orgánicos tanto si se consiguen directamente de forma natural, p.ej: el metano, como si se obtienen indirectamente a través de procesos técnicos, p.ej. el gas de hulla. El nombre de gas se debe a Joan Baptist van Helmont (1577-1644) quien descubrió, al someter el carbón a altas temperaturas en un recipiente cerrado, que se generaba una sustancia volátil no conocida.

El propósito de este trabajo es dar a conocer cómo ha sido la evolución tecnológica de la industria del gas, cuáles han sido los aspectos más significativos, qué diferentes tipos de tecnologías la han ido sustentando en cada momento, y cómo se han ido introduciendo las distintas innovaciones.

En primer lugar se han expuesto los experimentos que, desde el siglo XV, fueron efectuándose y que permitieron descubrir cuales eran las cualidades de aquella materia invisible que se obtenía a partir de ciertos materiales por procedimientos químico-físicos. Por ejemplo, que el calentamiento de determinadas materias orgánicas –como la madera o el carbón– desprendían esta sustancia (el gas) que tenía la propiedad de inflamarse al aplicarle una llama. También se observó que el fenómeno de la inflamación sólo ocurría en presencia del aire, y se constató que este tipo de materia invisible también podía encontrarse en estado natural, como el gas de los pantanos (el metano).

Seguidamente en nuestro trabajo se ha analizado cómo ha ido avanzando tecnológicamente la producción y el uso del gas desde el siglo XVIII hasta hoy. Desde que esta materia invisible, ya conocida con el nombre de gas, empezó a utilizarse industrialmente para el alumbrado y la obtención de calor. Por que a pesar de que el uso térmico del gas, hoy pueda parecernos obvio, la iluminación fue la primera aplicación del gas.

Durante el transcurso del siglo XIX la instalación de una fábrica de gas en cualquier ciudad española fue un acontecimiento que modificó los hábitos de la población. La iluminación de las calles y plazas, fábricas y comercios, y posteriormente las viviendas particulares, fue una revolución de amplio calado por los cambios que introdujo. Entre otros, una jornada laboral más larga y mayor seguridad ciudadana. Aunque unos años después fuera superada por la aparición de la electricidad.

Los gases que se utilizan industrialmente como combustibles, son una mezcla de compuestos orgánicos que se distinguen por sus parámetros físicos y químicos, uno de los cuales es precisamente su poder calorífico. Sin embargo, inicialmente y debido a su aplicación, al alumbrado, este parámetro ocupaba un lugar secundario y tenía más relevancia el poder lumínico del gas.



Fábrica de gas de Alicante, año 1905. (AHFGNF)

1.1. Del gas de hulla al gas natural

Pese al conocimiento de la existencia de gases en la naturaleza, a finales del siglo XVIII se empezó a desarrollar la obtención de gas a partir del carbón. La hulla, el carbón vinculado con la revolución industrial y la máquina de vapor, también tuvo su papel en el proceso de obtención de gas. En su desarrollo es conocido que participaron, por separado, el francés Philippe Lebon y el escocés William Murdoch. Ambos mediante un sistema similar obtuvieron gas, el primero a partir de la madera, y el segundo a partir del carbón de hulla. El gas obtenido por ambos fue aplicado para la iluminación. Las circunstancias sin embargo permitieron que fuese Murdoch quien, además de alguna instalación particular,

pudiese construir la que sería la primera fábrica de gas de hulla, que fue situada en el interior de la fundición Boulton & Watt de la ciudad de Birmingham, utilizándose el gas obtenido para iluminar las naves de la fábrica. Ocurría ello en los primeros años del siglo XIX.

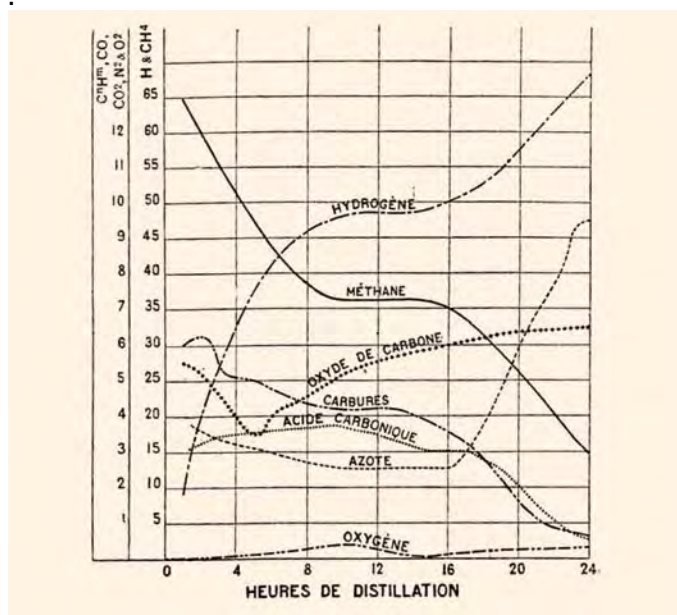
Tras los primeros generadores de gas puestos a funcionar por Lebon y Murdoch, empezó su tecnificación. Al principio los procesos de obtención fueron simples, aunque interviniesen reacciones físico-químicas más o menos complejas, pero pese a que el método de combustión controlada del carbón (o destilación seca como se le ha venido denominando) ha sido el más utilizado, fueron apareciendo otros procesos que proporcionaban otras mezclas de gases. Mezclas que dependerían, por supuesto, de las condiciones del combustible utilizado, pero también de variables como el tiempo de

permanencia en el horno. Pero además de la presencia de gases combustibles, se generaban otros componentes orgánicos no combustibles que tenían que separarse para poder utilizar adecuadamente el *gas*.

La primera fábrica de gas española se construyó en Barcelona en 1842, pero años antes ya se habían realizado experimentos de iluminación por gas. El primero que tuvo un cierto éxito es el que realizó el químico catalán Josep Roura en el día de San Juan de 1826, en el aula de dibujo de la Casa Lonja de Mar de Barcelona, donde se puso en marcha una pequeña producción de gas encendiéndose unas luces que funcionaron durante tres noches.

La fábrica de gas situada en Barcelona, utilizó tecnología francesa e inglesa, fue construida por el francés Charles Lebon adjudicatario, en mayo de 1841, del primer concurso de iluminación pública por gas de la ciudad. En agosto de 1842 empezaba la distribución de gas para el alumbrado público de la ciudad y con ello se iniciaba una nueva actividad industrial que iría desarrollándose progresivamente en otras ciudades y poblaciones de España, casi siempre bajo la misma fórmula: lograr la concesión del alumbrado público por medio del gas y, a la vez o posteriormente, extender el suministro a otros usos de iluminación en locales comerciales y en viviendas. A finales de 1861 había en España 29 fábricas de gas funcionando, 13 de las cuales se encontraban en Cataluña.

Gráfico 2. Variación de la producción de compuestos en una combustión controlada de 24 horas



Fuente: (Massé, R et Baril, A, 1923: 138).

Cuadro 1.1. Fábricas de gas existentes a finales de 1861

Población	Inicio de la actividad	Sociedad productora y distribuidora de gas
Barcelona	1842	Charles Lebon - Sociedad Catalana para el Alumbrado por gas
Valencia	1844	Charles Lebon - Sociedad Valenciana para el alumbrado de Valencia
Cádiz	1846	Charles Lebon
Madrid	1846	Sociedad Madrileña para el Alumbrado de Gas en Madrid
Bilbao	1847	Compañía Lionesa del alumbrado
Sevilla	1850	Juan Pedro Lacave (en nombre de York & Co. de Londres)
Gracia	1852	Ramón Salvadó i Serra
Sabadell	1852	Prats, Benessat y Cia
Santander- Molnedo	1852	Manby, Wilson & Cia
Málaga	1852	Louis Gosse
Reus	1855	Gas Reusense
Matarò	1855	Clavell y Cia
Igualada	1856	Altadill y Cia
Sant Andreu de Palomar	1856	Agustín Rosa y Cia
Tarragona	1858	Sociedad Tarraconense para el alumbrado por gas
Valladolid	1858	Compañía General de Crédito en España
Oviedo	1858	Gonzalez, Alegre y Polo
Manresa	1859	Mariano Torrents y Cia
Girona	1859	Barrau,,Balarí y Cia
Palma de Mallorca	1859	Sociedad de Alumbrado por Gas
Terrassa	1860	Juan Vallès y Cia
Figueres	1860	Sociedad en Cdta de gas de residuos compuestos
Manlleu	1860	Alfonso Humbert, M.Petit i Felip Benessat
Vigo	1860	Sociedad de Alumbrado y Calefacción de la Coruña y Vigo
La Coruña	1860	Sociedad de Alumbrado y Calefacción de la Coruña y Vigo
Jerez de la Frontera	1860	Compañía General de Crédito en España
Cartagena	1861	Compañía General de Crédito en España
Alicante	1861	Compañía General de Crédito en España
Pamplona	1861	Compañía General de Crédito en España

Fuente: elaboración propia.

Las cuatro operaciones principales que se debían de realizar en una fábrica para obtener un gas combustible quedaron fijadas con las primeras instalaciones:

que se fue aplicando a medida que el proceso se iba perfeccionando fue la recuperación del calor de combustión que tenían los humos, lo que permitió un considerable ahorro energético.

Combustión controlada del carbón en hornos cerrados (retortas).
Extracción del residuo de carbón, el coque.
Depuración del gas, separando los componentes no combustibles
Almacenaje del gas en depósitos (gasómetros) y su emisión mediante conductos a presión

En el libro se ponen de manifiesto estas etapas y se va mostrando como ha sido la evolución de la tecnología en un proceso que, aunque tuvo considerables innovaciones en cada una de las cuatro etapas, no modificó substancialmente su estructura. De la mezcla de gases obtenida por la combustión controlada se tenía que separar el alquitrán, el amoníaco y la naftalina por procedimientos físicos. Otros componentes derivados del azufre y del cianuro se separaban por procedimientos químicos, y finalmente quedaba una mezcla de gases apta para su emisión a la red y su uso en los quemadores.

En lo que se refiere a hornos se observará que la evolución se centró en lograr el mayor rendimiento posible, experimentando cual era la temperatura más adecuada para obtener una mayor extracción de gas del carbón. Es decir: producir la mayor cantidad de gas posible por unidad de carbón introducida. La forma de generar el calor necesario en los hornos para calentar las retortas en las que se encontraba la hulla cuya destilación daría lugar al gas, también fue variando. Desde utilizar la combustión del mismo carbón a tratar, pasando por utilizar el carbón de coque generado en el proceso, o incluso utilizando el alquitrán, todo sirvió para esta finalidad. También se utilizó gas pobre, generado a partir de los materiales: carbón, coque o alquitrán. Otra de las mejoras

También jugó un papel destacado en la eficiencia del proceso, la reducción de la mano de obra empleada en el proceso. La minimización de las operaciones de carga del carbón en la retorta y de la descarga del coque residual, una vez extraído todo el gas posible, implicó la racionalización de las instalaciones. Para ello se desarrollaron modelos de hornos y mecanismos de carga y descarga que contribuyeron al fin buscado, como se podrá observar el apartado correspondiente.

La depuración fue tan importante como la obtención de gas. De las operaciones de depuración hay que destacar las efectuadas por métodos físicos y las efectuadas mediante reacciones químicas. En las primeras se buscó que la forma de los filtros y los materiales utilizados en los mismos, permitieran un “lavado” más eficaz. En la depuración mediante reacciones químicas, los avances se centraron en la utilización de componentes químicos de bajo coste o reciclables para varios usos consecutivos, en lugar de utilizar otros de un solo uso y/o de mayor coste.

En el almacenaje se fueron diseñando depósitos de mayor tamaño pero que tuvieran mayor hermeticidad y fueran más seguros de maniobrar. Finalmente, en lo que se refiere a los conductos de emisión, la prioridad se centró en la reducción de las pérdidas de gas mediante la incorporación de nuevos sistemas de juntas en las cañerías.

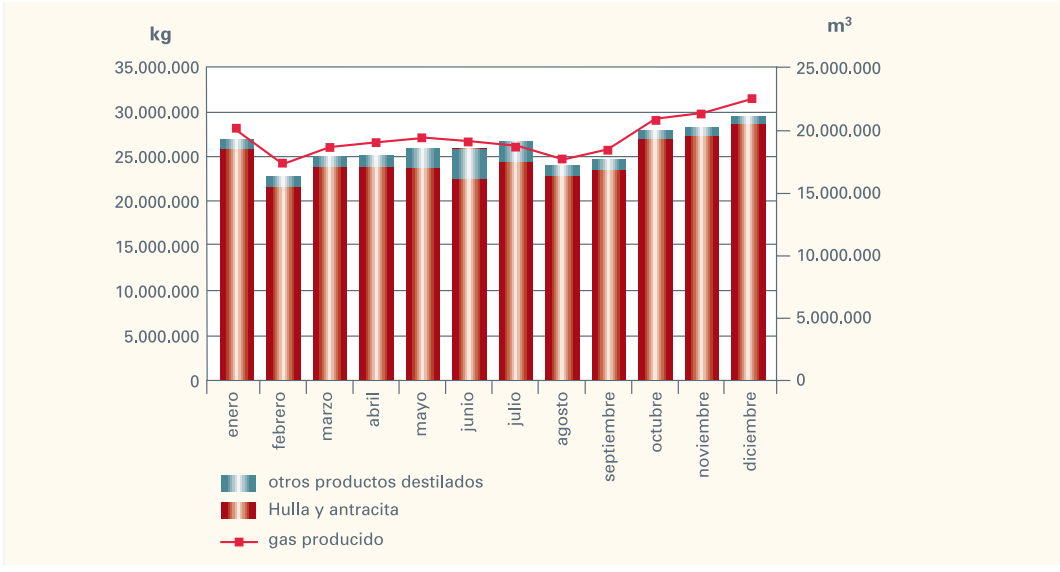
Estas serían las pautas de innovación en lo que se refiere a la producción y emisión del gas.

Cuando se impuso el uso del gas, además de cubrir una faceta importante de la vida ciudadana, la iluminación, sus propiedades caloríficas permitieron ampliar su campo de actividad para proporcionar calor. Un requerimiento fue entonces el poder lumínico y el otro el poder calorífico. El primero se lograba gracias al gran porcentaje de hidrógeno que tenía la mezcla obtenida con el gas de hulla. El segundo era una aportación de los gases de la mezcla, principalmente el metano, el hidrógeno y el monóxido de carbono. La presión que tenía el gas suministrado fue otro parámetro destacado: debía de mantenerse por encima de un nivel determinado y sin grandes variaciones, si se quería que la llama no tuviera oscilaciones, que se mantuviera estable. Junto con estas propiedades se encontraba otra: la combustión no tenía que

desprender olores desagradables. Característica especialmente requerida cuando se trataba de la iluminación de espacios cerrados, como escuelas, salas de fiestas, comercios o viviendas. Con la implantación de la luz eléctrica el gas fue quedando para su uso en la cocina con la producción de calor, entonces tomó relevancia otra propiedad, que con la combustión no se formara hollín en los utensilios.

Pero a lo largo de la vida de las fábricas, no todo el gas fabricado artificialmente ha provenido del carbón. De la misma forma que se utilizó la hulla, también se han utilizado otros compuestos orgánicos para extraer gas, como los derivados del petróleo o los llamados aceites minerales. Una tecnología que surgió antes de 1820, pues se conoce que en este año ya existía en Liverpool una empresa que obtenía gas a partir de aceites minerales, en lugar de la hulla. Pero cuando se empezó a utilizar

Gráfico 2. Fabricación de gas en España, año 1948.



Fuente: Datos Estadísticos Técnicos de las Fábricas de Gas Españolas, 1930-1950.



Fábrica de gas de Manresa, año 1905. (AHFGNF)

mayoritariamente fue cuando hubo escasez de carbón o se buscaba otra fuente de obtención de gas más económica. Después de la segunda guerra mundial se empezaron a efectuar pruebas para obtener gases combustibles a partir de derivados del petróleo y, aunque presentaba problemas tecnológicos, estos se fueron dominando.

La producción de gas a partir de este sistema fue imponiéndose y la tecnología de obtención de gas a partir de hidrocarburos líquidos fue avanzando, siendo además favorecida por el bajo coste de adquisición de los mismos, junto con la posibilidad de una mayor automatización de todo el proceso. Hacia los años cincuenta estos métodos de producción se adoptaron decididamente y se difundieron dando paso a un cambio de sistemática de fabricación, lo que supondría una renovación total de la tecnología gasista.

Hidrocarburos como el gas-oil o el fuel-oil fueron de los primeros que se utilizaron, como aditivos para mejorar la calidad del gas fabricado mediante el carbón. Pero pronto fueron substituidos por otro producto petrolífero que en aquellos momentos no tenía aplicación industrial directa, la nafta. Un hidrocarburo ligero, que en los años cincuenta tenía un bajo coste de adquisición por ser considerado sobrante en la obtención de la gasolina, tenía menor contenido en carbono que el gas-oil o el fuel-oil, y lo hacía más óptimo para la obtención directa de gas.

La utilización de la nafta a lo largo de muchos años favoreció la aparición de diversos procesos físico-químicos destinados a la obtención de una mezcla de gases combustibles. Procesos que dieron paso a una nueva concepción de las fábricas de gas y que tuvieron su base científica

en la química orgánica con la ruptura de los enlaces estructurales de unas moléculas para formar otras. Principalmente fueron tres los procesos utilizados, todos exigían la incorporación de calor a la reacción, y las diferencias se encontraban en el conjunto de reacciones químicas que se producían en el reactor, y que daban lugar a un nuevo compuesto orgánico, un gas sintético que contenía hidrógeno, monóxido de carbono, metano y otros elementos.

Con las nuevas técnicas de obtención de gas se hizo necesario diferenciar las distintas mezclas de gases combustibles, como el gas ciudad obtenido con hulla, o el gas ciudad obtenido con hidrocarburos, el gas butano, el gas metano. Esto sucedía en un momento en que el gas era un producto que tenía utilidades muy diversas y la introducción de diferentes tipos de gases en la red requería conocer cuál sería la respuesta de los quemadores existentes.

Los gases combustibles se clasificaron en tres familias:

gases manufacturados del carbón o de derivados del petróleo
gases licuados del petróleo
gas natural

La primera familia y la segunda están vinculadas con procesos de elaboración artificiales y la tercera es el gas que se encuentra en la naturaleza, solo o mezclado.

Los métodos de producción y distribución de los gases de la primera familia, constituyen el núcleo central de este libro. Métodos que hoy han quedado en desuso, pero cuyo conocimiento es imprescindible para entender la evolución de esta industria. Aunque se ha tratado de mantener una visión universalista,

en algunos casos se ha tenido una especial sensibilidad por los procesos más cercanos y por ello se dan más referencias concretas del desarrollo particular que ha tenido la industria del gas en España.

En el año 1963 se inauguraba en Barcelona la primera planta de España de craqueado, naftas del petróleo para la producción de gas. La composición química del gas de hulla era distinta del gas obtenido a través del nuevo proceso de craqueado, pero no tan distinta como para que su emisión por la red de canalizaciones pudiera afectar la respuesta de los quemadores y producir una combustión incorrecta.



Hornos Otto de la fábrica de gas de Barcelona, c.1960.
(AHFGNF)

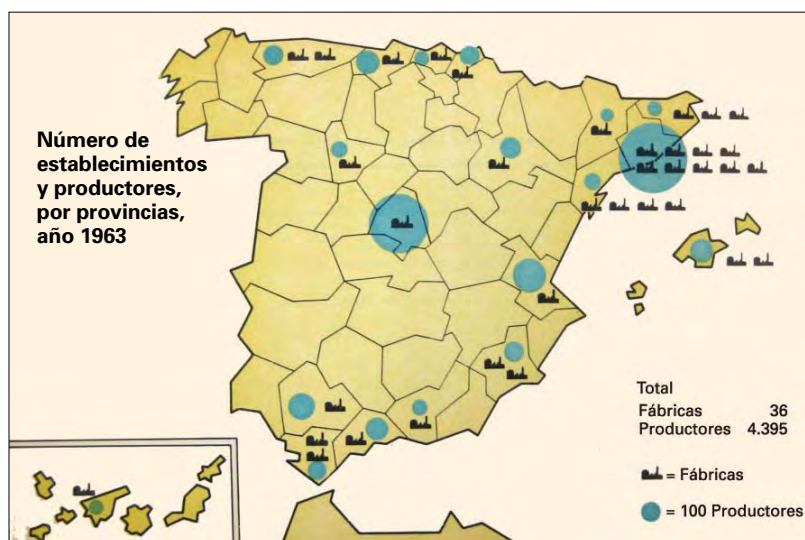
Otro tipo de gases que se han introducido en el mercado de los combustibles han sido los gases licuados del petróleo: el propano y el butano. Obtenidos principalmente a partir del craqueado del petróleo, estos gases han sido utilizados ampliamente por su gran poder calorífico y su fácil distribución, ya que se

mantienen líquidos a temperatura ambiente bajo una presión moderada. El butano, conocido desde hacía mucho tiempo, aparece en España en 1934 con la importación de este gas licuado en bombonas a presión. Pero su expansión más importante se produjo a partir del año 1957 cuando se constituyó en España la empresa Butano S.A. En aquel momento existían en España 44 fábricas de gas manufacturado, de las cuales 21 se encontraban en Cataluña y 23 en el resto de las provincias españolas. Fue el inicio de una nueva etapa, ya que sin necesidad de redes de distribución, el uso de gas licuado se extendió en todos los ámbitos y poblaciones del territorio español. Debido a la gran penetración que tuvieron, principalmente el gas butano, junto con la continua competencia de la electricidad en el campo energético, la fabricación de gas manufacturado disminuyó de forma importante. Ambos, propano y butano, han

sido, y siguen siendo, la base energética de muchas poblaciones, incluso el propano se está utilizando actualmente como gas canalizado en poblaciones pequeñas.

En 1963 eran 36 las fábricas en funcionamiento, como muestra la imagen adjunta y en 1969 quedaban en España 30 fábricas de gas manufacturado, la mitad de ellas en Cataluña. (Fábregas, 1980:11).

Después de más de cien años con una sistemática parecida, el cambio más importante en la industria del gas se efectuó entre los años 1963 y 1969. Ya hemos indicado que en 1963 se ponía en marcha en Barcelona la primera planta química que utilizaba nafta para obtener gas ciudad, pero solo seis años después, en 1969, cuando ya se habían instalado 46 reactores de nafta en toda España y quedaban solo 10 hornos de retorta de los 50 que había al principio de la década, se introdujo el gas natural.



Datos Estadísticos Técnicos de la Industria del Gas. Sindicato Nacional de Agua, Gas y Electricidad, 1963.

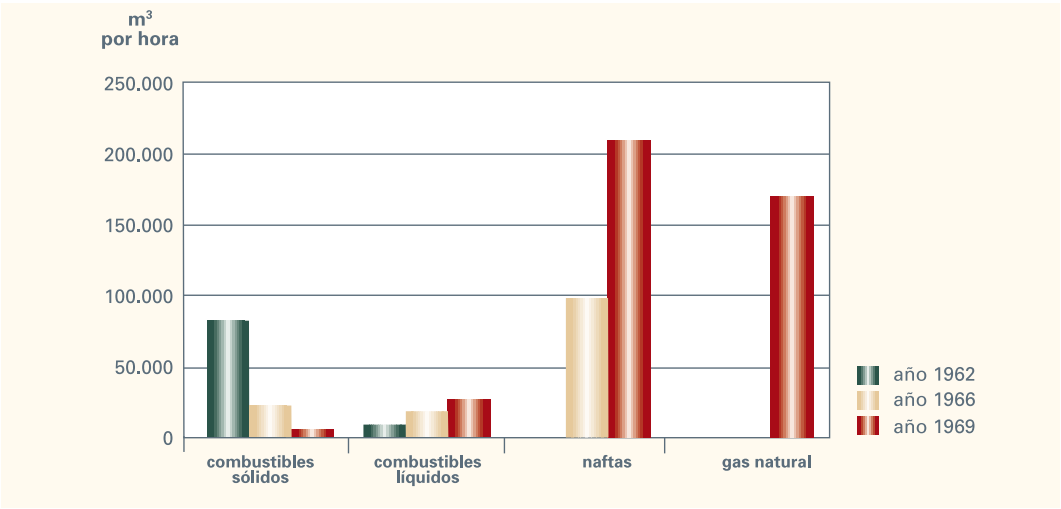
El gas natural se introdujo a partir de la planta de GNL de Barcelona y la gráfica muestra la capacidad que disponían los equipos de fabricación de gas y evidencia que, en 1969, la planta de Barcelona estaba preparada para una distribución equivalente a casi todas las fábricas españolas de gas de nafta juntas.

En la década de 1950, el descubrimiento de los yacimientos de gas natural de Francia y

campos de gas de Siberia, Holanda y el Mar del Norte añadieron más capacidad y un mayor uso del gas natural.

España se incorpora en el uso del gas natural con el descubrimiento, en 1964, del yacimiento de Castillo, en Álava, que dio la oportunidad de experimentar con este combustible. Cinco años después el gas natural empezaba a llegar al área de Barcelona, primero circunstan-

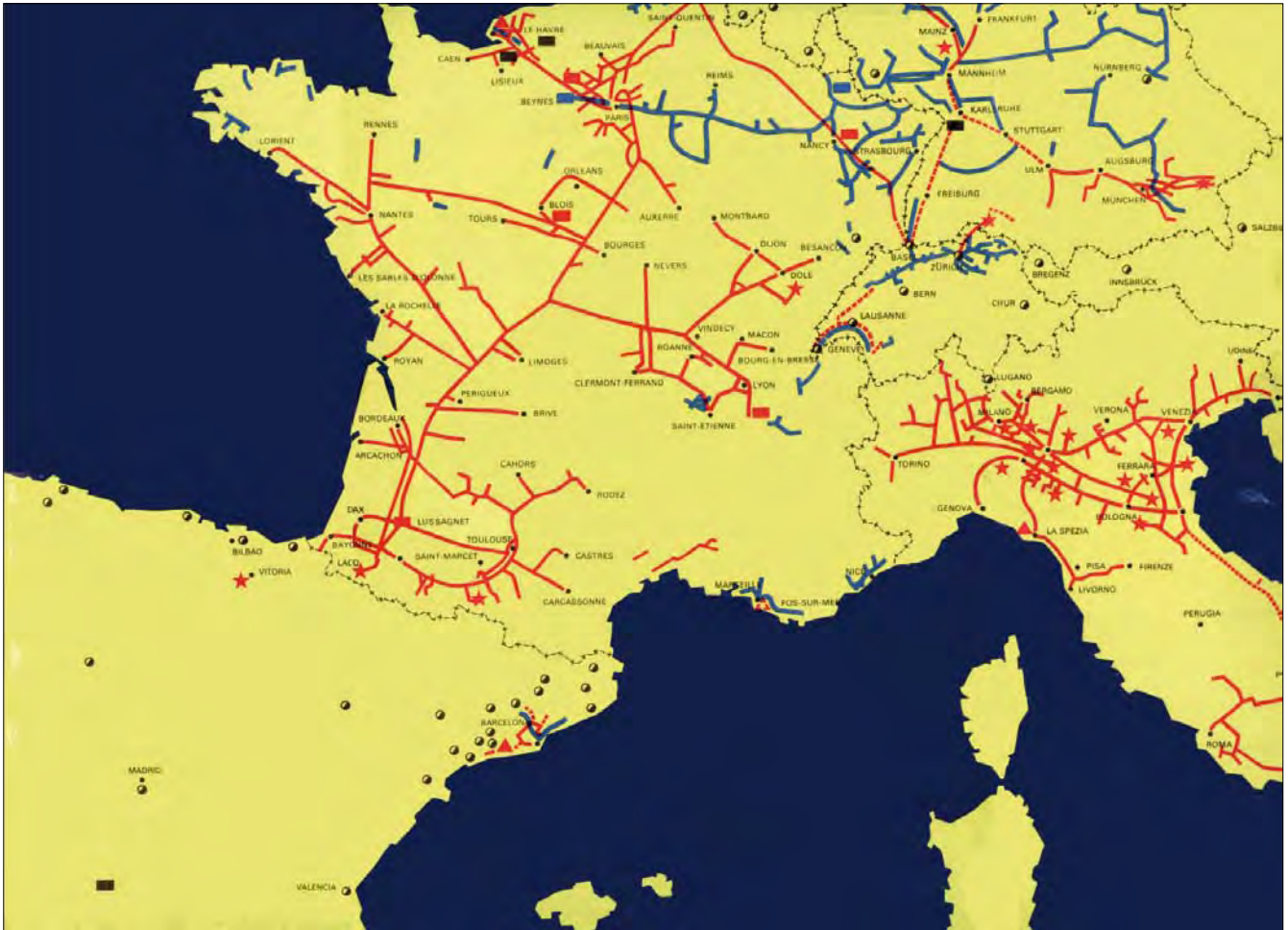
Gráfico 3. Capacidad de producción de gas en España.



Fuente: Datos Estadísticos Técnicos de la Industria del Gas, años 1960 y 1969.

de Italia iniciaron una etapa de cambio en la industria gasista europea, que fue reforzada con el descubrimiento de los yacimientos del Sahara en Zelten (Líbia) y Hassi R'Mel (Argelia). El gas del Sahara imprimió un cambio radical a la industria gasista europea, que impulsó toda una tecnología para poder trasladar este gas a los puntos de consumo, y eclipsó paulatinamente la obtención de gas a partir de hidrocarburos. Posteriormente los

cialmente desde Argelia, y después desde los yacimientos de Zelten y Raguga, en Líbia. Lo hacía en forma de gas natural licuado (GNL), transportado mediante el buque metanero Aristóteles, al mismo tiempo que se inauguraba la planta de regasificación de Barcelona que entonces tenía dos tanques para almacenar el GNL y las instalaciones necesarias para separar el propano y el butano que venían mezclados junto con el metano.



El transporte de gas en la Europa de 1968-69 (parcial). En rojo el gas natural, en azul el gas ciudad. Los yacimientos (estrella roja), se marcan: Castillo (España), Lacq (Francia), Valle del Po (Italia). Los círculos blanco y negro son las fábricas de gas manufacturado existentes.
(Colloque International de Marketing.Gazier, 1969)



Red de gas natural a final de 1969. (Gas Natural S.A.)

En paralelo con la evolución de los métodos de producción de gas, ha cambiado notablemente la estructura de las redes de distribución. En la etapa en que el gas era producido con carbón y almacenado en los gasómetros, las canalizaciones utilizadas eran de baja presión, como máximo 0,4 bar, el material utilizado era principalmente la fundición gris, y el control de la presión era casi testimonial. Con la introducción del gas de nafta y la ampliación del volumen de producción, se introdujeron las canalizaciones de transporte a media distancia de acero recubierto trabajando a una presión

de 4 bar. Ello también influiría en las redes de distribución de baja presión, en las cuales se introducirán nuevos materiales como el PVC y la fundición dúctil. También se empezaron a organizar los centros de control. Con ellos se dispondría de información continuada de los procesos de fábrica y de las magnitudes de la red. Una tarea en la cual los avances en sistemas de comunicación fueron vitales para desarrollarla.

La introducción del gas natural ha cambiado por completo todo el sistema de distribución. Tanto por la extensión geográfica que tiene la red, como por la incorporación de nuevas tecnologías en materiales de canalización. Materiales como el polietileno que ha sido utilizado en las redes de distribución y manteniéndose el acero recubierto para el transporte a alta presión. Pero lo más importante han sido las grandes infraestructuras de transporte, desde los yacimientos hasta los terminales de gas natural licuado, las plantas de licuefacción de gas y el transporte marítimo de gas natural licuado (GNL).

Como hemos indicado, este libro trata del gas canalizado y de su recorrido tecnológico desde su producción hasta su utilización. Es decir, el gas obtenido en las fábricas de gas, también conocido como gas ciudad, o el gas natural obtenido en los yacimientos. Deja expresamente aparte los gases licuados del petróleo (GLP) aunque en los años 60, fueron la base para la gasificación de la península, superando incluso el consumo de gas manufacturado en los años setenta:

Cuadro 1.2. Consumo de gas en 1978 en España (termias per cápita)

	Gas canalizado	Gases licuados del petróleo
Provincias con fábricas de gas	610	773
Provincias sin fábricas de gas	0	770

Cuando se introdujo el gas natural, el crecimiento del consumo también fue muy destacado, principalmente en la industria. Pero a diferencia de los GLP fue necesario extender una gran red de transporte y de distribución por todo el país, muy distinta, a menudo, de la existente para el gas ciudad.

Europa, pese a sus yacimientos, ha sido siempre importadora de gas natural y España aún más. Ello ha motivado que se hayan desarrollado diferentes tecnologías relativas al transporte de gas natural licuado en navíos o el transporte mediante canalizaciones subterráneas o submarinas. Todas estas tecnologías han sido tratadas en este libro.

Cuadro 1.3. Consumo de gas natural

Año	Sobre la energía total utilizada en España	Consumo de gas natural en relación al consumo de fuel-oil en la industria española
1968	0 %	0 %
1973	10,6 %	19,8 %
1978	16,7 %	32,6 %

Fuente: (Fábregas, 1980:19).

En 1980 solo 103 municipios españoles disponían de gas, natural o manufacturado, hoy sobrepasan los 1.300, y todos tienen gas natural.

No hay duda que la utilización del gas natural está en auge desde hace muchos años. Este combustible, que presenta cualidades

Cuadro 1.4. Oferta/demanda y deficit de gas natural

Datos en miles de millones de metros cúbicos de gas	Oferta 2005 (extracción) (10 ⁹ m ³)	Demanda 2005 (consumo) (10 ⁹ m ³)	Déficit en 2005 (10 ⁹ m ³)
Ex URSS	808,9	646,3	162,6
América del norte	741,5	748,5	-7,0
Asia y Oceanía	360,7	399,1	-38,4
Europa	314,5	565,5	-251,0
Medio oriente	309,1	268,3	40,8
África	171,8	82,9	88,9
América del sur	134,0	119,9	14,1
Total	2.840,5	2.840,5	

Fuente: (Gaz d'Aujourd'hui, enero 2007).

insuperables, por decirlo de alguna forma, se ha convertido en el combustible del futuro. Sin embargo y pese a que las reservas de gas en el mundo son muy importantes, estas se encuentran muy concentradas en pocos países. Por esta causa, y a pesar de éstas grandes reservas, la industria de la química orgánica está investigando desde hace años la posibilidad de fabricar metano, el componente básico del gas natural, mediante reacciones de síntesis. El gas natural sintético (GNS) es un elemento nuevo en la industria que tiene ya su espacio de referencia.

Otro elemento de investigación son las reservas de metano en el fondo de los océanos, que se presentan en forma de hidratos. Estos compuestos son conocidos desde hace mucho tiempo, en 1811 el científico Inglés Humphry Davy ya describió un hidrato compuesto por agua y cloro, pero en el caso del metano fueron observados por primera vez en 1984 en Estados Unidos.

Lo que exponemos en este libro representa lo que se ha ido utilizando a lo largo de los casi doscientos años en que el gas se encuentra en nuestro panorama energético. Pero hoy, con el gas natural utilizado en el transporte público, o como fuente primaria de obtención de hidrógeno para su uso en las pilas de combustible, por citar dos de las innovaciones más recientes, podemos afirmar que la tecnología del gas que hemos presentado en sus diversas etapas tiene aún un gran recorrido por realizar. Lo constatamos y dejamos para futuros investigadores su estudio con perspectiva histórica

Durante la elaboración de este libro se ha consultado una cantidad importante de documentación que se relaciona en el apartado de bibliografía. Sin embargo también se han extraído algunos ejemplos de ejecuciones tecnológicas españolas, como fábricas de gas u otro tipo de instalaciones gasistas. Para ello los autores se han basado en la documentación que ha puesto a su disposición la *Fundación Gas Natural Fenosa*, cuyo Director General, Pedro-A. Fábregas, no solo ha sido inductor de esta publicación, sino que junto a sus colaboradoras: Anna Bragulat, Olga González y Maria Marín, han demostrado su eficacia localizando aquellas informaciones relacionadas con las antiguas fábricas de gas españolas y proporcionándonos documentos obtenidos por las técnicas de la historia oral. También hemos acudido al destacable *Centro de Documentación de Gas Natural*, en este caso ha sido Justina Zotes la encargada de localizar y facilitar la documentación técnica de los procesos productivos más actuales.

Ha sido fundamental la documentación existente en el *Fondo Histórico de Ciencia y Tecnología de la Biblioteca de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona* que preserva el legado más importante que existe en España sobre tecnología desde la segunda mitad del siglo XIII hasta el primer cuarto del siglo XX. Habida cuenta que está Escuela es la única que se ha mantenido funcionando desde la creación, en 1851, de los estudios de Ingeniería Industrial. Este Fondo no solo contiene manuales destacados sobre la industria del gas, sino también colecciones de revistas técnicas que han sido de gran utilidad y que han podido ser consultadas gracias a la eficiente colaboración de las bibliotecarias: Montserrat Ramón, Montserrat Tornés y Montserrat Pallàs.

Pero un libro de estas características no se ha realizado únicamente con el apoyo de publicaciones y documentación, sino que, por abarcar etapas recientes de implantación de nuevas tecnologías, se ha apoyado en los conocimientos y experiencias de personas que trabajan, o han trabajado, en la industria del gas canalizado. Por ello los autores desean reconocer la aceptación y el apoyo que han encontrado en todos los expertos con los que han mantenido contacto para conocer o ampliar conocimientos sobre la tecnología gasista. Profesionales de *Catalana de Gas* con gran experiencia en sus campos respectivos, con los cuales hemos conversado y documentado etapas importantes de la industria del gas: Josep Bou, Jordi Canet, Sebastià Gumà, Josep Isern, Josep Mata, Josep Sahun y Frederic Ventura.

También a Carlos Vilallonga, vicesecretario de la asociación Sedigas y Miquel Lombarte, por la gran calidad del archivo documental que gestionan, y que ha sido puesto a nuestra disposición. Un archivo sobre la industria del gas que es fruto de años de dedicación y que constituye la base para conocer la industria gasista moderna. A Ricard Aguilar, técnico de la empresa Kromschroeder, empresa que desde su creación en 1932 es referente en la fabricación de sistemas de medición y control de gases.

Finalmente a los directivos y técnicos de *Gas Natural S.D.G.*, con los cuales hemos conocido mejor la tecnología más actual y las tendencias por las que se encamina la industria del gas, vinculadas con las distintas áreas de responsabilidad en las que ejercen su función: Avelino Arduengo, José María Ferri, Antonio Gella, Joan Puertas, Martí Solà y Tomás Villamayor.

A todos ellos nuestro más sincero agradecimiento por las aportaciones que sin duda cubren la parte importante de este trabajo.

Nota final

El gas es un material compresible, y como tal su volumen depende de la temperatura y la presión aplicadas. Por ello, desde hace décadas, en la industria del gas se conviene en denominar la unidad de volumen del gas con el nombre de Normal metro cúbico (Nm^3) a un metro cúbico de gas seco, medido a 0°C y a la presión de 760 mm de mercurio (1013,25 bar), y con el nombre de Standard metro cúbico (Sm^3) se designa al gas contenido en un metro cúbico a 15°C y también a 760 mm de presión de mercurio.

Todas las medidas de capacidad o producción de gas que se indican, para el gas natural y también a menudo para el gas de nafta son Nm^3 , pero en este volumen se ha omitido la expresión (Nm^3) indicándose sólo (m^3), denominación más usual y menos complicada en un libro de divulgación tecnológica. No obstante debe considerarse que todos los valores lo son en las condiciones físicas Normales de presión y temperatura.



2. Orígenes y desarrollo histórico del alumbrado por gas

Desde la antigüedad se sabía que en algunos parajes aparecía espontáneamente por las fisuras del suelo un “aire inflamable” que servía para calentarse o para la iluminación. Probablemente los fuegos perpetuos, tan utilizados en los ritos paganos, como el fuego del templo de Vesta, o las lámparas sagradas de los templos, como la que Marco Polo visitó en Bakú, fuesen producidos quemando gas natural. En China, en el siglo II d.C. se utilizaba el gas para evaporar la sal de Szechuan y durante más de quinientos años el gas fue canalizado desde el yacimiento hasta unos recipientes utilizando unos tubos fabricados con cañas de bambú (Needham, 1962: IV, 1, 66). Sin embargo, este conocimiento del gas se mantuvo en el ámbito de lo empírico hasta el siglo XVIII en que unas mentes intrépidas fueron capaces primero de obtenerlo artificialmente y después de utilizarlo hasta convertirlo en una fuente de energía fundamental para el desarrollo de la humanidad. Pero el camino no fue ni llano ni exento de barreras.

2.1. El espíritu del carbón

En el siglo XVI, los alquimistas se interesaron por los aires inflamables y entre ellos el médico holandés Jan Baptiste van Helmont (1577-1644). El paradigma vigente durante el Renacimiento era la teoría alquímica de las tres sustancias que había establecido Paracelso. Esta

doctrina había desplazado la de Empedocles de las parejas de cualidades opuestas y de los cuatro humores, en un intento de integrar alquimia y medicina. Las tres sustancias de Paracelso eran el mercurio, que representaba el principio acuoso, el azufre que era el principio inflamable y la sal que era el cuerpo térreo. Según esto, cuando se quemaba madera, lo que quemaba de hecho era su azufre, lo que se evaporaba era su mercurio y aquello que quedaba, las cenizas, era la sal (Thorndike, 1941: V, 617-651). Uno de los procedimientos



Único retrato de Van Helmont (Pagel, 1982: 17).

alquímicos más implantado era la destilación que se utilizaba en bebidas alcohólicas, en metalurgia y en medicina. Tenía tanta importancia que se designaba por destilación también algunas reacciones químicas y con la denominación de *ars separatoria* formó más tarde parte del tronco común de la química a la que se añadieron también otras ramas como el arte de los metales, el arte de los ensayadores y otras prácticas alquímicas (López Piñero, 1973: 113-141).

Van Helmont llevó a cabo un experimento consistente en calentar carbón en un recipiente cerrado. De 62 libras de carbón obtuvo una libra de cenizas y 61 de humo. Este humo no era ni aire, ni vapor de agua, se trataba de una sustancia volátil no conocida hasta entonces que la consideró como un espíritu silvestre (*spiritus silvester*) que no podía escapar de la vasija pero que tenía una naturaleza expansiva y explosiva. Para entender qué pudo significar este descubrimiento no podemos recurrir a la química actual sino que hay que conocer cual era el sistema filosófico y cosmológico del Van Helmont. Para él todas las cosas consistían finalmente en agua que era la primera materia y el espíritu del Creador. Profundamente religioso, Van Helmont creía que Dios daba a cada individuo un plan de vida una especie de simiente y que el agua, que producía seres vivos y vida, era precisamente la que contenía esa simiente sembrada por el Creador. Así ese espíritu que había obtenido era la esencia de ese principio de vida, como si del cuerpo se hubiese separado su simiente dejando la carcasa (Pagel, 1982: 60-70).

Van Helmont inventó un nombre para este espíritu, le llamó gas¹, palabra que recuerda el caos de los antiguos. Paracelso también había utilizado el término *caos* para designar el aire y el vapor de agua, pero también para designar arcanos volátiles que estaban conectados con fuerzas astrales, por lo que el término tenía un significado diferente. No obstante la tradición ha preferido creer que Van Helmont derivó la palabra gas del término *Geist* que en alemán quería decir “espíritu”. Sin embargo encontraremos autores que consideran que el origen de esta palabra es el griego *χαος* (*caos*), que creen que proviene del termino *Gäsch* que significa sacar espuma (Partington: 1936, 371), o que prefieren *Gaesen* (fermentación) o *Gest* (espuma hirviente) (Pagel, 1982: 69).

En 1618, el médico francés Jean Tardin, al estudiar unas emanaciones de gas que brotaban episódicamente en tres lugares cerca de Grenoble sobre el gran camino del Dauphiné, llegó a la conclusión que la llama que se obtenía al quemarlas era similar a las que procedían de quemar carbón o petróleo (Tardin, 1618).

También estudió el gas de unas emanaciones, Thomas Shirley (1638-1678). Se trataba de una fuente de agua “hirviente” asociada a un pozo de carbón situado cerca de Wigan en el Lancashire. En febrero de 1659, de regreso a su casa de Wigan, Thomas Shirley se acercó a una fuente singular que había en la propiedad del Sr. Hawkley a una milla de la ciudad por la carretera de Warrington a Chester. Las gentes del lugar aseguraban que el agua hervía. Shirley, sin embargo, no se lo creyó y observó

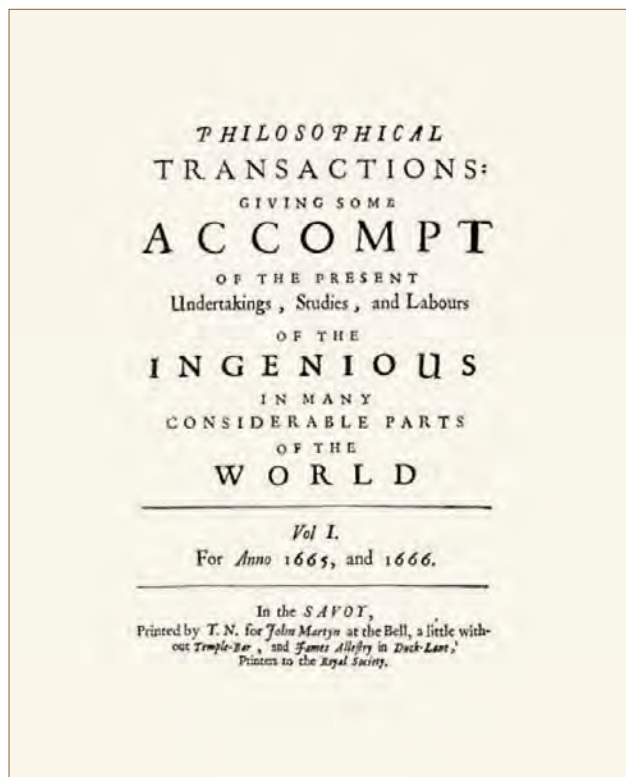
¹ “*Hunc spiritum, incognitum hactenus, novom nomine Gas voco, qui nec vasis cogi, nec in corpus visibile reduci, nisi extincto primus semine potest*” (Llamo a este espíritu, hasta ahora desconocido, con el nuevo nombre de gas, el cual no se puede conservar en recipientes, ni reducirse a forma visible, a menos que la semilla se extinga primero). En este fragmento de la obra de Van Helmont *Complexionum atque misionum elementalium* se introduce por primera vez el término gas (Partington: 1936, 370).

2. Orígenes y desarrollo histórico del alumbrado por gas

que, a pesar de que cuando acercaba una llama el agua se inflamaba, si sumergía la vela en el agua esta se apagaba. Además, si introducía su mano, el agua no estaba especialmente caliente. Estos experimentos le llevaron a la conclusión de que la supuesta ebullición se debía al desprendimiento de vapores bituminosos y sulfurosos procedentes de las minas de hulla que había cerca del lugar. Los resultados de sus trabajos los resumió en una nota que presentó a la Royal Society en junio de 1667 y que se publicaron en la *Philosophical Transactions*.

Fue precisamente esta descripción de Thomas Shirley sobre la fuente de agua hirviente la que despertó el interés del reverendo irlandés John Clayton (1657-1725) y que le llevó, en 1684, a hacer algunos experimentos con lo que denominaba *espíritu del carbón*. En primer lugar mostró la estrecha relación que había entre el gas que surgía de estas fuentes y la presencia de minas de carbón. Después, cogió carbón y lo destiló en una retorta calentándolo directamente al fuego. Primero obtuvo agua, después un aceite negro y más tarde un *espíritu* que no pudo condensar. Observó que este gas se podía encender acercando una llama o una vela. Entonces se le ocurrió recogerlo utilizando un recipiente de serpentín conectado por uno de sus extremos a una vejiga sin aire en su interior. De esta manera el agua, el aceite y algunas impurezas se quedaban en el serpentín mientras que la vejiga se hinchaba de gas. Clayton llenó así diversas vejigas y de vez en cuando cogía alguna de ellas y le practicaba un agujero con una aguja. Después, encendía el chorro de gas que salía hasta que toda la vejiga se vaciaba. Los trabajos de Clayton fueron de gran importancia ya que representan el primer intento, aunque modesto, de producción, consumo y almacenaje de gas. Constituían la prueba fehaciente de que destilando carbón

se podían obtener grandes cantidades de gas que era susceptible de ser quemado si se le acercaba una vela encendida produciendo una llama brillante apropiada para la iluminación. La Royal Society en su órgano *Philosophical Transactions* de 1739 recogió estas experiencias.



Portada de las *Philosophical Transactions*.

2.2. El conocimiento teórico del gas

Mientras que estos experimentos prácticos tenían lugar, los hombres de ciencia avanzaban en el conocimiento más teórico de las características de este elemento denominado gas. En 1657 Robert Boyle (1627-1691) inspirado por la bomba de aire de Otto von Guericke decidió mejorarla construyendo una máquina neumática, lo que le permitió comenzar una serie de experimentos sobre las propiedades del aire y posteriormente analizar los cambios de volumen de los gases. También, el médico Stephen Hales (1677-1761) anunció que no sólo el carbón sino las otras sustancias orgánicas podían producir gas con el simple calentamiento en un recipiente cerrado. Hales, en el primer volumen de su obra *Vegetable Statics*, habló de un gas elástico e inflamable obtenido a partir de diversos tipos de sustancias (Hales, 1727).



Retrato de Robert Boyle según un grabado de William Faithorne (<http://www.bbk.ac.uk/Boyle>).

Los trabajos de Robert Boyle le llevaron a constatar que en la combustión se consumía aire y que los metales ganaban peso cuando se oxidaban. Pero sus teorías no fueron bien acogidas entre los alquimistas donde se había implantado un nuevo paradigma: La teoría del flogisto. El origen de esta teoría se debe al médico alemán Johan Joachim Becher (1635-1682) que estudió la descomposición de los carbones ingleses. Becher estaba influido por Paracelso y consideraba que todos los minerales estaban formados por tres tierras: *Terra pinguis*, *Terra mercuriales* y *Terra lapida*, conceptos que recuerdan los tres elementos (azufre, mercurio y sal) del alquimista del Renacimiento. Cuando una materia se quema pierde la *Terra pinguis* y el metal calcinado que queda esta compuesto por las otras dos *Terras*. Sus trabajos, publicados en 1669, influyeron en Georg Ernst Stahl (1600-1738) quien confirmó el nombre de flogisto al principio de inflamabilidad de los cuerpos combustibles. Según él, los metales estaban compuestos de producto calcinado o *herrumbre* y de un elemento imponderable e inasible que en el momento de la combustión modificaba las propiedades del cuerpo de partida. Era el flogisto que se desprendía en forma de llama cuando se calentaba. La teoría del flogisto tuvo una gran difusión en Europa a lo largo del siglo XVIII.

En 1772, Joseph Priestley (1733-1804) realizó un experimento consistente en calentar óxido rojo de mercurio en un recipiente mediante una lente que concentraba los rayos del Sol. Priestley era miembro de la Sociedad Lunar de Birmingham, entidad que existió durante la década de 1770 y que reunía a personajes muy diversos.² Su actividad constituyó el germen de la Revolución Industrial. Los miembros de esta Sociedad se reunían a cenar y allí discutían temas literarios, científicos y

religiosos libremente sin que se registrasen sus actividades en actas ni resúmenes. Priestley comentó en esa Sociedad los resultados de su experimento y mostró su sorpresa por haber obtenido un gas ya que creía que el oxido utilizado estaba desflogisticado. Era un gas que si se le acercaba una vela producía una llama luminosa y como Priestley era un seguidor de las teorías del flogisto pensó que se trataba de aire desflogisticado. Mantuvo una estrecha correspondencia con Lavoisier (1743-1794), el cual, posteriormente denominó a este aire como oxígeno y demostró que era imprescindible para la combustión siendo el causante del aumento de peso de algunas sustancias al ser quemadas (Calder 1958, 7-15).

Henry Cavendish, que en 1766 ya había descubierto las propiedades del hidrógeno, aprovechó el descubrimiento de Priestley para establecer la composición del agua como compuesta de aire desflogisticado (oxígeno) y flogisto (hidrógeno). Como consecuencia de estos trabajos, François Chaussier (1746-1828), sugirió conducir el gas hidrógeno hasta un quemador a través de un conducto para producir una llama. En 1780 Friedrich Ludwig Ehrmann, seguidor de Lavoisier, propuso crear lámparas que utilizasen hidrógeno, un método que explotó como novedad James Diller presentándolo incluso a la *Académie des Sciences* de París (Singer, 1969: IV, 258).

En la segunda mitad del siglo XVIII tuvieron lugar algunos otros estudios teóricos de interés para el desarrollo posterior del gas.

Así, Richard Watson (1737-1816), obispo de Llandaff y profesor de Química y de Divinidad de la Universidad de Cambridge, escribió un texto titulado *Chemical Essays* donde explicaba todos sus experimentos sobre el comportamiento de determinadas variedades de carbón y de madera en el proceso de destilación y sugería el uso del gas obtenido a partir del carbón de coque (Watson, 1791 y 1817).

2.3. Aplicaciones prácticas pioneras

En Whitehaven, pequeño puerto pesquero de la Gran Bretaña, situado a orilla del Mar de Irlanda en frente de la Isla de Man, había minas de carbón que eran explotadas desde hacía tiempo por la familia Lowther, condes de Lonsdale. William Brownrigg (1711-1800), médico del lugar, se dedicó a estudiar las emanaciones gaseosas que afectaban a esta zona, procedentes de las minas de carbón y llegó a la conclusión que el gas grisú y los gases asfixiantes eran los responsables tanto de determinadas enfermedades como de las propiedades medicinales de las aguas minerales. El resultado de su investigación, es decir, la conexión entre los gases de las minas y los de las aguas minerales, fue presentado por James Lowther (1673-1755) a la Royal Society en 1742 y tuvo como consecuencia que Brownrigg fuese nombrado miembro de esta prestigiosa sociedad científica. Prolongó sus investigaciones buscando la manera de

² Entre los miembros de la Sociedad Lunar de Birmingham había Erasmus Darwin (1731-1802), médico y abuelo del conocido Charles Darwin, Josiah Wedgwood (1730-1795), alfarero, William Herschel (1738-1822), prestigioso astrónomo, el científico Henry Cavendish (1731-1810), Matthew Boulton (1728-1809), propietario de la manufactura de Soho, James Watt (1736-1819), inventor de la máquina de vapor. Dos personajes, estos últimos, que el médico William Small (1734-1775), también miembro de esta Sociedad, había puesto en contacto. Benjamín Franklin (1706-1790) en su segunda estancia en Inglaterra también formó parte de esta Sociedad.

reproducir artificialmente el agua del famoso balneario de Bad Pyrmont, a orillas del río Emmer en Alemania, donde descansaba el rey George I, y en el que había tomado baños el mismo Isaac Newton. Estos trabajos fueron aprovechados después por John Priestley para inventar un aparato para producir agua de soda (Priestley, 1772).

Movido por la finalidad de disminuir la mortalidad en las minas, Brownrigg se hizo construir un laboratorio cerca de Whitehaven para investigar las propiedades de estos gases y los hizo transportar desde las minas adyacentes por unos tubos gracias a un mecanismo inventado por Carlisle Spedding (1695-1755) ingeniero y superintendente de las minas propiedad de James Lowther. Brownrigg adquirió tanto prestigio que fue consultado cuando tuvo lugar una explosión en una mina y pudo predecir el periodo exacto de una explosión simplemente observando el grado de rapidez con que el mercurio descendía en un barómetro. También recibió la medalla Godfrey que otorgaba la Royal Society y sus trabajos sobre las aguas minerales fueron continuados por Cavendish respecto a las aguas calcáreas y sobre las aguas ferrosas. Brownrigg mantuvo, también, contactos epistolares con Stephen Hales a propósito de un nuevo método de destilación e intentó aplicarlo para mejorar la máquina de vapor con la ayuda del mismo Spedding (Russell-Wood, 1950: 436-447).

Mientras en Holanda, Jan Pieter Minckelers (1748-1824), profesor de la Universidad de Lovaina se interesó por el gas procedente del carbón para aplicarlo en la ascensión de los globos. Los hermanos Montgolfier habían hecho ya su primera ascensión en un globo de aire caliente. Se percataron de que si en lugar de gas se utilizase un gas más ligero como el

hidrógeno, el globo subiría más. Minckelers pensó en cambio en utilizar precisamente el gas del carbón y el 1 de octubre de 1784 llenó un barril de pólvora con carbón en polvo y lo calentó hasta que se desprendió el gas. Después llenó un globo pequeño que voló 25 km. Después de este ensayo Minckelers utilizó el gas para iluminar la habitación de lectura de su casa en Lovaina y publicó un trabajo titulado *Mémoires sur l'air inflammable* en que explicaba sus experimentos con el gas.

La literatura de la última parte del siglo XVIII proporciona muchos ejemplos de aplicaciones del gas para la iluminación. Así, en 1786, Johann George Pickel (1751-1838), profesor de farmacología en Wurzburg iluminó su laboratorio. En 1790, el fundidor de cobre de Bristol, John Champion, obtuvo una patente para iluminar las casas con gas. En la ciudad francesa de Lión, J.B. Lanoix hizo por la misma época experimentos de alumbrado de gas. Hacia 1795, en Landskron, el farmacéutico Frederich Erxleben también iluminó su laboratorio y cuatro años después Wilhelm August Lampadius (1772-1842) hizo pruebas de alumbrado en el castillo del elector de Sajonia en Dreden.

A finales del siglo XVIII, la idea de que si se calentaba carbón en un recipiente cerrado se producía un gas que era apropiado para la iluminación estaba plenamente arraigada. Pero todos los intentos llevados a cabo, de los que hemos citado los más importantes para el desarrollo posterior, sólo tuvieron una dimensión particular y no pueden ser considerados como aplicaciones industriales. Faltaba trasladar estas ideas a una empresa viable comercialmente que se ocupara de producir, almacenar y distribuir este gas a los posibles usuarios. Esta tarea fue larga y

complicada y en ella los científicos quedaron en un segundo plano (Williams: 1981: 3-5) (Elton, 1958: 260).

2.4. Los inicios del gas para la iluminación

Los dos experimentos sobre gas de alumbrado que pueden ser considerados como los iniciadores de su desarrollo comercial se deben a Philippe Lebon (1767-1804) en Francia y William Murdoch (1754-1839) en la Gran Bretaña. El primero empezó sus investigaciones a partir de la destilación de la madera, mientras que el segundo lo hizo por la misma época a partir del carbón.

Hacia 1788 para unos y hacia 1798 para otros, Philippe Lebon realizó algunos experimentos en Brachay, su pueblo natal, que le llevaron a obtener gas de alumbrado a partir de la destilación de la madera. Para los primeros el descubrimiento tuvo lugar durante la enfermedad de su padre. En esa ocasión, Lebon se le ocurrió poner virutas de madera en un matraz y colocarlo sobre brasas en una chimenea. El resultado fue en principio un humo negro y se convirtió en blanco al envolver el matraz con un trapo húmedo para poder cogerlo. Lebon comprobó que era inflamable si se le acercaba una ramita de madera encendida dando una luz muy viva (Fayol, 1943: 40). La segunda versión sitúa el descubrimiento en un laboratorio particular que Lebon tenía en su casa y donde habría construido un aparato con



Retrato de Philippe Lebon y cuadro que representa su asesinato dibujado por Emile Bayard (Figuier, 1873-1877): 101, 105).

ladrillos, lo habría llenado de madera y habría conducido el gas obtenido a una cuba llena de agua para purificarlo antes de su uso (Gaudry, 1856: 7).

Philippe Lebon había nacido el 29 de mayo de 1767 en Brachay (Haute-Marne) en el seno de una familia burguesa con pretensiones nobiliarias, por ello su padre a veces firmaba como LeBon o Le Bon (uniendo o separando las dos sílabas de su apellido) y siguiendo la costumbre de la alta burguesía puso a sus hijos el apellido de sus propiedades principales. Así pues encontraremos algunos documentos en que Lebon aparece citado como Philippe Lebon de Humbersin aunque ni él ni su viuda utilizaron esa denominación. En 1787, Lebon ingresó en la École Nationale des Ponts et Chaussées de París graduándose con el número uno de su promoción y siendo destinado a Angoulême con el encargo de realizar el mantenimiento de la esclusa del canal. Pero la relación con sus superiores jerárquicos se deterioró quizás porque dedicaba más tiempo a sus investigaciones sobre el gas que al cuidado del canal (Veillerette, 1987: 125).

Lebon comunicó a Antoine-François de Fourcroy (1755-1809) y después a Gaspard de Prony (1755-1839) los resultados de sus investigaciones sobre el gas. El 1796 leyó una memoria en el Instituto de Francia y al año siguiente obtuvo una concesión de una porción de bosque a Rouvray (Le Havre), en donde instaló los aparatos necesarios para obtener alquitrán a condición de sacar 5 quintales al día (Vincent, 1873: 145-151).

El 28 de septiembre de 1799 consiguió una patente de invención de una “termolámpara”,

aunque de hecho la patente era: “*un appareil qui éclaire avec économie, et offre avec divers produits précieux une force motrice applicable à toute espèce de machines*” (Aparato que ilumina con economía y ofrece una fuerza motriz aplicable a todo tipo de máquinas). En ella Lebon describía su planta de fabricación de gas la cual contenía una retorta de plancha de hierro, un horno y una chimenea que envolvía la retorta. La madera se colocaba sobre los ladrillos refractarios y el gas era conducido desde el interior de la retorta a través de agua para separar el alquitrán y el ácido acético. Lebon no se planteó la eliminación de las impurezas del gas y afirmó que su gas estaba a punto para ser utilizado. Su propuesta consistía en quemarlo en unos globos de vidrio donde había tres tubos, uno para el gas, otro para el aire y un tercero que actuaba como chimenea, para sacar los productos de la combustión (Elton, 1958: 262).

Para dar publicidad a su invento organizó una exposición pública en 1801 en el Hotel Seignelay de París que atrajo la atención ciudadana. El gas estaba generado al quemar la madera en el interior de esa termolámpara. De hecho en esta exposición instaló dos, una se utilizaba para calentar e iluminar la casa y la otra para iluminar el jardín. Lebon repitió su exhibición periódicamente durante algunos meses demostrando que era posible la aplicación práctica del gas del alumbrado (Derry;Williams,1980: 736-749).

Philippe Lebon tuvo un final trágico. Murió en París lejos de su familia y en la víspera de la coronación de Napoleón. Años más tarde su sobrino Joseph Gaudry de manera prudente relató este suceso dejando la puerta abierta a que hubiese podido ser un asesinato.³ Esta discreta

³ Gaudry se hizo eco de diversos rumores sobre la posibilidad de que Lebon hubiese podido ser asesinado sin que se supiese nada de sus autores ni de la causa de su muerte: “si toutefois le crime ne fut pas étranger a cette catastrophe” (Gaudry:1856:4).

conjetura se convirtió en certeza después que Louis Figuier, en su obra *Les Merveilles de la Science*, se inventase los detalles de como Lebon fue apuñalado. Lebon que vivía en Le Havre fue llamado como ingeniero para asistir a la ceremonia de la coronación de Napoleón como emperador de los franceses el 2 de diciembre de 1804 por el Papa Pío VII y de regreso de este acto, al cruzar los Campos Elíseos que entonces –dice Figuier– eran una cloaca desierta, fue asesinado con trece puñaladas por alguien que quería robarle el dinero. Aún con vida, lo llevaron a su casa de París donde ni su familia ni sus amigos pudieron hablar con él ya que murió (Figuier, 1873: 105). Este melodrama fue completado posteriormente por las interpretaciones que hicieron los otros biógrafos de Lebon. Amédée Fayol en 1943 sugirió que el gran parecido entre Lebon y Napoleón, que se descubre al comparar imágenes de ambos personajes, podía haber sido la causa del crimen, al ser Lebon confundido con el Emperador. También se sugirió que hubiese participado en un duelo y que como consecuencia le hubiesen robado documentos fundamentales para la fabricación de gas que llevaba encima. Se insinuó incluso que los ingleses, eternos rivales de los franceses en esta invención, estuviesen detrás de este suceso (Fayol, 1943, 64).

El historiador Guy Beaujouan en 1954 localizó en los Archivos Departamentales del Sena el acta de defunción de Lebon que indicaba que no murió el día 2 sino el día 1 víspera de la coronación de Napoleón (Beaujouan, 1954: 167). Estos documentos muestran que Lebon estaba enfermo de gota desde unas

cinco semanas antes de su muerte habiendo tenido tiempo de legar a su mujer y sus hijos la empresa de fabricación de alquitrán de Rouvray. Este descubrimiento demostraba también la falsedad de su asesinato y daba la razón a diversos autores contemporáneos que ya indicaban que su muerte repentina no había sido violenta sino natural.⁴

Entre los que en 1802 visitaron la exposición de Lebon en el Hotel Seignelay estaba Gregory Watt, segundo hijo de James Watt el cual, impresionado por lo que acababa de ver escribió un informe a la compañía Boulton & Watt de la que su padre era socio y que fabricaba máquinas de vapor. Esta empresa tenía una parte ubicada en Cornualles donde las máquinas de vapor se utilizaban para bombear el agua de las minas de estaño. Allí trabajaba un ingeniero de origen escocés que había hecho experimentos similares a los de Lebon pero quemando hulla. Se trataba de William Murdoch (también citado como Murdock) (Williams, 1981: 6).

William Murdoch (1754-1839) había nacido en el molino de Bellow (Ayr) y allí a base de reparar la maquinaria había aprendido a ser un buen mecánico. Con 23 años decidió marchar hacia el sur en busca de trabajo en la fundición de Soho en Birmingham. Allí trabajó en la empresa de Boulton & Watt y adquirió los conocimientos para convertirse en el encargado de las máquinas de Cornualles. En 1792 construyó un aparato con el que a base de quemar hulla generó gas e iluminó su despacho y una habitación de su casa de Cross Street a Redruth. Además construyó un pequeño coche de vapor que utilizaba para

⁴ Camile Vincent dice que Lebon murió de repente durante los días de la ceremonia de coronación (Vincent: 1873: 12). Henry Marechal indicaba que su muerte había sido por gota y no por asesinato (Marechal: 1894: 6).

desplazarse hacia la mina.⁵ En Escocia, cinco años más tarde también aplicó sus experiencias iluminando su propiedad de Old-Cunnoch en Ayrshire (Smiles, 1935: 86- 90) (Thomson, 2003: 50-61).

El informe de Gregory Watt desde París sirvió para que James Watt hijo decidiese sacar partido de los trabajos de Murdoch y le estimulara a continuar con sus experimentos y organizase una demostración pública para conmemorar el tratado de paz de Amiens

firmado entre Francia y la Gran Bretaña en 1802. A tal efecto, la fachada del taller del Soho fue iluminada por dos antorchas de gas, de manera que la población de Birmingham se quedó maravillada al observar el magnífico espectáculo (Clegg, 1860: 13).

En los dos años siguientes Boulton & Watt invirtió unas 5.000 libras en desarrollar e instalar en la fundición de Soho un sistema permanente de gas de alumbrado y contrató al joven ayudante Samuel Clegg. Por la misma



Retrato de William Murdoch del pintor John Graham Gilbert (City Museum and Art Gallery de Birmingham).

⁵ Murdoch era un mecánico muy inquieto y por eso cuando oyó que en Francia el ingeniero Joseph Cugnot (1725-1804) había construido una máquina para desplazarse, se apresuró a construir una. La máquina de Murdoch tenía tres ruedas, una caldera de cobre que se calentaba con una lámpara de alcohol y arrastraba un pequeño vagón, se movía por la fuerza expansiva del vapor. La puso a punto en 1784 y la ensayó en su casa. El uso de este automóvil indignó al vicario del lugar por considerarlo obra del demonio (Smiles, 1935: 94).

2. Orígenes y desarrollo histórico del alumbrado por gas

época llevaron a cabo la primera instalación de alumbrado de gas en la industria de algodón de Phillips & Lee de Salford cerca de Manchester. Consistió en cincuenta lámparas que iluminaban a partir del gas obtenido en seis retortas de hierro colado con 750 kg de carbón cada una. En 1807 la instalación se había hecho extensiva a toda la factoría, a la casa de Lee y a un camino privado. En 1805, unos días antes de la firma del contrato con la empresa Phillips & Lee, Samuel Clegg había dejado la empresa Boulton & Watt y había puesto en marcha por su cuenta una ingeniería de gas que hizo la instalación del alumbrado de la fábrica de algodón de Henry Lodge cerca de Halifax (Williams, 1981:7).

Los trabajos de Murdoch recibieron el reconocimiento de la Royal Society. El 25 de febrero de 1808, leyó una memoria en esta institución científica titulada "*An account of the application of the gas from coal to economical purposes by Mr. Murdoch, communicated by the Right Hon Sir Joseph Banks Bart*" (De la aplicación del gas de carbón de piedra como elemento económico) (*Philosophical transactions* 1808, 124-132.) A consecuencia de esto, la Royal Society le entregó la medalla Rumford con una inscripción apropiada *Ex Fumo Dare Lucem* (del humo hacer luz). Sin embargo, ni Murdoch ni Watt hicieron gestiones para patentar su invento lo que les comportó posteriormente algunos problemas (Williams, 1981:7).

Hemos visto que las primeras aplicaciones industriales del gas tuvieron lugar básicamente en iluminación de industrias textiles debido a que los empresarios de este sector consideraban necesario ampliar el horario laboral para poder incrementar la producción y esto se podía conseguir con alumbrado

artificial. Además, la situación de contexto bélico de la Europa del momento había dado lugar a que las grasas animales y aceites de ballena, que se solían utilizar normalmente en las lámparas, hubiesen aumentado considerablemente de precio debido a sus usos militares. Por ello, la iluminación por gas resultaba especialmente atractiva. Quedaba aún pendiente su aplicación al alumbrado público que significaba un incremento de escala considerable y su uso para la iluminación de casas particulares que requería una atención especial en el proceso de depuración. Ambas aplicaciones representaron un nuevo escalón en el avance hacia la total implantación de la tecnología del gas.



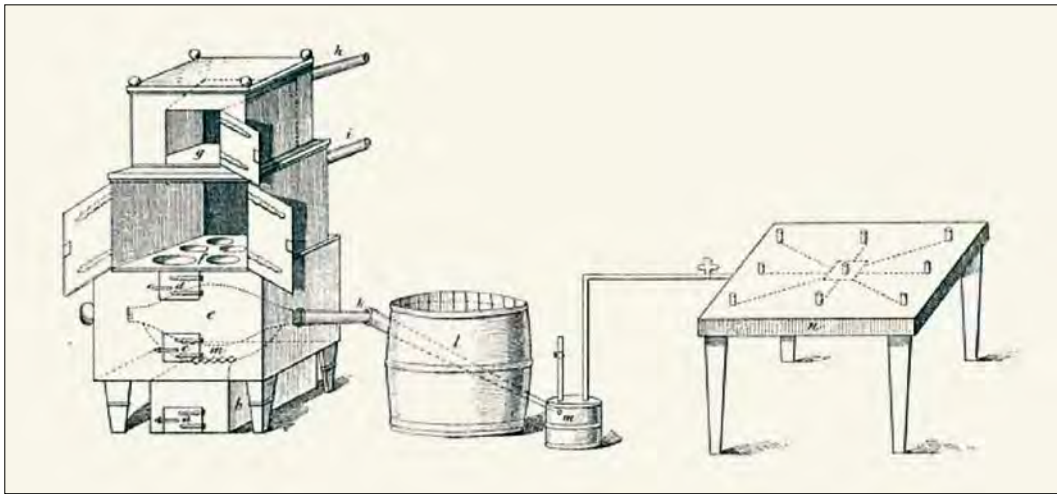
Casa de Murdoch en Redruth (Cornualles) que fue iluminada con gas (Thompson, 2003: 65).

2.5. Aplicación del gas al alumbrado público

Cuando Lebon hizo su exhibición en París no obtuvo ningún apoyo empresarial para llevar a cabo una explotación industrial de su invento, pero si tuvo repercusiones en otros países como Alemania donde se publicaron algunos opúsculos explicativos, de manera que en Dresden en 1802 se instalaron algunas termolámparas. En Viena, Andreas Zacharias Winzler (1750-1830) realizó una aplicación en el cuartel de Alsen, en una fábrica de salmuera de su propiedad, y en 1803, iluminó la galería científica del conde von Deym.

ponerse en contacto con Lebon para comprarle una termolámpara y al no conseguirlo trató de buscar suerte en la Gran Bretaña. Se trasladó a Londres y tradujo al inglés su nombre y apellido haciéndose llamar Frederic Albert Winsor. En esa ciudad comenzó una campaña de conferencias y demostraciones públicas con el objetivo de concienciar a la población sobre las virtudes del gas (Elton, 1958: 264) (Schilling, 1879, 12).

En el Lyceum Theatre, Winsor demostraba la rapidez y seguridad con la que el gas podía ser conducido de un edificio a otro y como podía dar una luz brillante y sin humo. En 1805 constituyó una empresa con el nombre



Termolámpara de Andreas Zacharias Winzler
(Imagen de A. Z. Winzler: Die Thermolampe in Oesterreich - Wien 1803).

Un personaje, de similar apellido al anterior, que se sintió atraído por el invento de Lebon fue el alemán y profesor de comercio Frederick Albert Winzer (1763-1830). Winzer intentó

de *National Light and Heat* con el objetivo de desarrollar sus ensayos en Pall Mall, una de las calles mas prestigiosas de Londres, en donde hizo las primeras pruebas hacia junio

de 1807. En 1809, presentó una demanda al Parlamento Inglés para fundar una compañía bajo el nombre de *The London and Westminster Chartered Gas-Light and Coque Company* que pretendía extender los ensayos de Pall Mall al alumbrado público de la ciudad, pero se encontró con bastantes dificultades. En primer lugar, tuvo que hacer frente a la oposición de Boulton & Watt que defendían que la prioridad del uso del gas de alumbrado correspondía a Murdoch y que por ello, a pesar de no haber patentado su invento, tenía derecho a un privilegio exclusivo. También había oposición por los posibles peligros que el gas podía tener para la salud de las personas y muchos prejuicios a la introducción de esa nueva tecnología. Por ejemplo, el escritor Sir Walter Scott (1771-1832) ridiculizó la aplicación del gas para el alumbrado tildándola de locura, el médico William H. Wollaston (1766-1828) sugirió utilizar mejor una rodaja de Luna y el químico Sir Humphry Davy (1778-1829) se preguntó si se pensaba utilizar la cúpula de St. Paul como depósito para el gas. A pesar de todo Winsor obtuvo el privilegio para crear una empresa de alumbrado para iluminar parte de Londres y Westminster con gas (Smiles, 1935: 92- 107).

Los primeros años de esta empresa fueron muy difíciles y casi estuvo a punto de desaparecer hasta que Samuel Clegg, en 1813, entró a trabajar y a partir de este momento la empresa empezó una nueva etapa. Clegg, después de dejar la empresa de Boulton & Watt había realizado diversas instalaciones de alumbrado por gas en empresas como la de Greenaway en Manchester, las hilaturas de Samuel Ashton en Hyde cerca de Stockport en donde introdujo un procedimiento para purificar el gas con cal y la empresa de Ackerman en Strand. Todas estas aplicaciones fueron el activo

que le llevó a ser reclamado por la empresa *Chartered Gas Company* que había montado Winsor de manera que el primer éxito llegó el 31 de diciembre de 1813 fecha en la que el puente de Westminster fue iluminado con gas así como algunas calles adyacentes. A las dificultades citadas, la empresa de Winsor en sus primeros momentos tuvo que superar otras de tipo técnico. Como se trataba de una industria nueva, se le presentaban problemas de no disponer de los materiales precisos para su instalación. Así, no había tuberías y el precio que se pedía para su fabricación era muy elevado ya que los fabricantes no querían arriesgar en una inversión de maquinaria nueva que construyese tubos de las dimensiones requeridas ya que no sabían si tendría continuidad. Por eso se llegaron a utilizar cañones de fusil como tubos de gas. También, hizo falta disponer de llaves de paso, mecheros, contadores y reguladores para evitar que la luz fuese irregular (Clegg, 1860: 22).

Winsor, no era un técnico ni inventó nada, su perfil se asemejaría a lo que hoy se conoce en términos empresariales como un comercial. Aventurero, audaz y sin muchos escrúpulos, se percató de la importancia de explotar este nuevo invento del alumbrado por gas. Su mérito estuvo en poner en contacto los experimentos francés e inglés y montar una empresa que consiguió por primera vez iluminar las calles de Londres. No obstante, no tuvo en cuenta que la industria del gas era un tema nuevo y sin parangón. Por ello todos sus elementos, aparatos, instrumentos y otros utensilios no estaban inventados y los que existían requerían perfeccionamientos importantes. Por eso, desde el principio, la empresa de Winsor, que había prometido repartir dividendos entre los accionistas no inferiores a 570 libras por una aportación de 5 libras, no pudo casi hacer frente

a sus enormes gastos y pronto liquidó todo el capital. A pesar de esto, consiguió ampliar el número de accionistas de manera que pudo subsistir cubriendo las necesidades pero sin repartir beneficios. Esta situación se mantuvo hasta 1816 en que se vio que para que la empresa se mantuviese se requería extender su privilegio a toda la Gran Bretaña. El momento era especialmente apropiado ya que las diversas aplicaciones realizadas habían cambiado la imagen desfavorable y habían desaparecido algunos prejuicios que acompañaron al gas en sus primeros años. El alumbrado por gas que se había establecido en el barrio de Santa Margarita de Westminster había permitido comprobar que resultaba útil a los comerciantes y proporcionaba seguridad ciudadana. Por eso, ese mismo año se consiguió un privilegio que permitió a la *Chartered Gas Company* crear otras compañías que instalaran fábricas de alumbrado en diferentes ciudades como Bristol, Birmingham, Chester, Kidderminster y Worcester. (Schilling, 1868: 10).

A lo largo del siglo XIX, la industria del gas se extendió de manera considerable a las ciudades más importantes de la Gran Bretaña. Como hemos visto las industrias textiles del norte de Inglaterra fueron las primeras en fabricarse su gas a las que se añadieron después las industrias ferroviarias. A partir de 1820 se crearon en Inglaterra muchas fábricas de gas que establecieron contratos de suministro con las empresas privadas y con las autoridades locales de manera que ninguna ciudad de más de 50.000 habitantes estaba sin alumbrado de gas. A partir de 1826 tuvo lugar un salto cualitativo y ya tenían suministro las ciudades

de más de 10.000 habitantes. Hacia 1830 el gas había llegado a las poblaciones de hasta 4.000 habitantes y hacia 1846, a las de 2.500. El *Journal of Gas Lighting* de Marzo de 1849 censaba 760 ciudades con compañía de gas propia (Falkus, 1967: 500).

Citaremos algunos ejemplos ilustrativos de este impresionante desarrollo. En 1815 en Preston un grupo de habitantes montó una empresa de gas e invitó a John Grafton, ingeniero de la *Chartered Company* de Londres para que dirigiese los trabajos de planificación y construcción de una fábrica local de gas. Grafton se llevó consigo algunos trabajadores preparados en Londres. Lo mismo le pasó en 1820 cuando le encargaron la construcción de otra fábrica en Wolverhampton. En Liverpool, el ingeniero James Hargreaves construyó una fábrica de gas a partir del capital de un grupo de accionistas locales. Otros promotores intentaron construir por su cuenta como fue el caso de John y George Barlow o los ingenieros John Malam y Samuel Clegg que iluminaron diversas ciudades.⁶

A partir de 1830, cuando el alumbrado de gas se extendió a las ciudades más pequeñas hubo que cambiar el sistema de financiación. El tamaño de estas fábricas no era tan grande para garantizar que la inversión sería rentable y por ello hubo menos recursos de capital. En algunos casos, se buscaron suscriptores locales y en otros la promoción y la construcción la hicieron los mismos contratistas. Los hermanos Malam, John, James y George, constituyen un buen ejemplo de esta nueva situación ya que construyeron parcial o totalmente unas

⁶ John y George Barlow construyeron fábricas en Brentford Newport (Isle of Wight), Duddley, Southampton, Portsea, Poplar, Coventry y Warwick entre otros lugares. John Malam y Samuel Clegg iluminaron diversas ciudades como Chester, Bristol, Birmingham, Worcester, Kidderminster, Wigan, Warrington, Rochdale, Oldham, Beverly, Louth, and Stamford (Falkus:1967: 505).

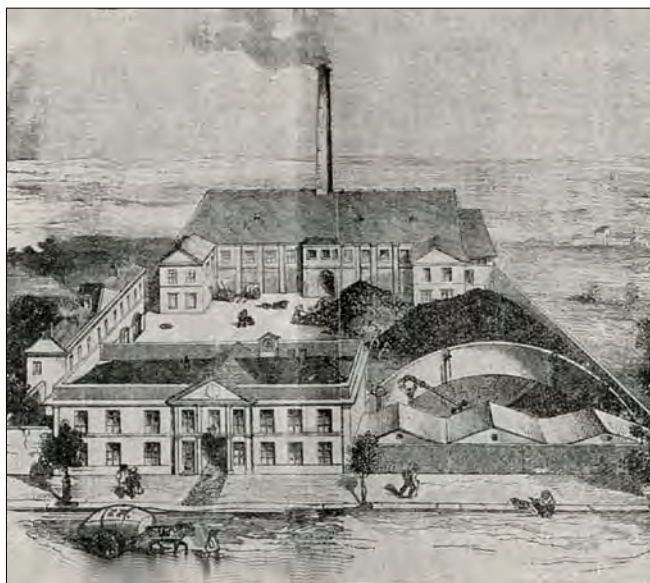
2. Orígenes y desarrollo histórico del alumbrado por gas

cincuenta fábricas antes de 1846.⁷ Los Malam contrataban con la compañía para realizar los trabajos de mejora y ampliación de las fábricas existentes. También contrataban con las autoridades públicas para el suministro de alumbrado. Operaban como directores durante un cierto período y, cuando la fábrica funcionaba correctamente y detectaban que había posibilidad de beneficio, vendían el contrato a accionistas o particulares.⁸ Otros contratistas similares a los Malam fueron Thomas Peckston, una autoridad en ingeniería del gas,⁹ William Steas, ingeniero de gas que actuó en Leeds y Stroud o Thomas Edge y William Pearce. Todos ellos no eran personajes de gran fortuna sino ingenieros expertos que sacaron provecho de sus conocimientos convirtiéndose en propietarios gasistas gracias a los créditos bancarios con los que financiaron sus obras (Falkus: 1967: 492-508).

En Francia, después de los experimentos de Philippe Lebon, el desarrollo de la industria del gas quedó aletargada a excepción de algunos casos singulares. En 1817, Winsor se desplazó a París con la intención de aplicar la iluminación por gas y consiguió iluminar el pasaje de Panoramas. Otro intento fue el de la iluminación del Hospital de Saint Louis que fue llevado a cabo en 1818 por el Conde de Chabrol prefecto del Sena quien construyó una pequeña fábrica únicamente para iluminar

todo el hospital. Así fue como poco a poco surgió la primera fábrica de gas en 1820 para iluminar el palacio de Luxemburgo y el Teatro del Odeón. Se trataba de la Compañía Francesa (Larrieu, Brunton, Pilté & Cie.) que se instaló en el arrabal Poissonnière (Payen, 1867, 5). La siguiente fue una empresa en la que participaba Winsor conocida como la Compañía Inglesa (Manby, Wilson & Cie).

Hasta 1855 actuaron en París seis compañías



Vista general de la fábrica de Ivry en 1844 (Journal, 1931: 72).

⁷ John Malam actuó en el Lancashire y en West Riding al Yourshire. James Malam en Cumberlain y en el North y East Riding. George Malam en East Anglia. (Falkus:1967: 506).

⁸ Ese fue el caso de las fábricas de Gainsborough, Knaresborough, King's Lynn, Wisbech, Peterborough, Malton, Grantham, Huntingdon que construyó John Malam y que después vendió a accionistas. O las de Beccles, North Walsham, Maryport, que construyó James Malam o las de Dereham, St. Ives (Hunts) Spalding, Ely, March, Chatteris, Holbeach, Swaffham, Baldock y Horncastle, erigidas por George Malam que siguieron el mismo destino que las anteriores (Falkus:1967: 507).

⁹ Thomas Peckston era cuñado de John Malam y constructor de fábricas en Bury St. Edmunds, Woodbridge, Stowmarket, Saffron Walden (Falkus:1967: 508).

que se repartían el territorio generándose continuamente conflictos entre ellas por la zona a ocupar y con la administración, que deseaba conseguir precios más ventajosos.¹⁰ Una de esas empresas era la Compañía Parisina (Dubouchet Pauwels & Cie) fundada en 1836 y que construyó una fábrica en Ivry. Fue, precisamente esa empresa la que lideró la fusión de todas ellas en una sola compañía la *Compagnie Parisienne d'éclairage et chauffage par le Gaz* la cual centró la producción de gas en una nueva fábrica en la Villette cerca de donde pasaba el ferrocarril. Además se construyeron otras fábricas para abastecer los pueblos de los alrededores como la de Boulogne, Saint Mandé, Saint Denis y Batignolles. En 1894, la *Compagnie Parisienne* tenía nueve fábricas y una producción considerable (Journal, 1931: 69-74)

En Alemania, como hemos comentado anteriormente los primeros ensayos prácticos realizados se basaron en la termolámpara de Lebon y en el uso de leña en lugar de carbón. En ese sentido se instalaron algunas de ellas en edificios privados como en la casa de Quandt en Wachau cerca de Leipzig, en el hospital de Wittenberg, en la casa de Adam Lampert en Schweinfurt y en la fábrica textil de Harren en Züllichau. En 1811, el farmacéutico Wilhelm August Lampadius (1772-1842) empezó a producir gas a partir de la hulla. Poco a poco fue abandonándose la tecnología francesa de la termolámpara y empezó a introducirse el proceso de producción inglés de destilación de la hulla. La creación en Inglaterra de la *Imperial Continental Gas Association*

(Asociación Imperial Continental del Gas) fue decisiva para la difusión de esa técnica en Europa ya que pretendía introducir el alumbrado por gas en las principales ciudades del continente mediante ofertas a los ayuntamientos. Esta asociación aportaba dinero, experiencia, técnica y hasta el carbón a cambio de conseguir el permiso de pasar los tubos. Así fue como la ciudad de Hannover fue la primera de Alemania en conceder este tipo de autorización. En 1825 se construyó allí una fábrica que suministraba luz a unos 1.000 mecheros y disponía de dos gasómetros. Le siguió Berlín que también firmó un contrato similar ese mismo año. Sin embargo, en Dresden, primero y en Frankfurt después se optó por construir unas fábricas de gas netamente alemanas que fueron inauguradas en 1828. Más tarde en 1838 se construyó otra similar en Leipzig. A la expiración de algunos de los contratos, los ayuntamientos optaron por crear empresas municipales para producir el gas de alumbrado. Así surgieron las fábricas de la Straulauer Playz y de la Cottbusser Thore.

Mientras sucedía esto, la *Imperial Continental Gas Association* firmaba contratos con otras ciudades alemanas como Aix-la Chapelle en 1837 y en el mismo Frankfurt donde se cedió la construcción de otra fábrica a los ingleses para que hubiese competencia.

También se instalaron en Alemania los belgas que fundaron en 1837 una fábrica de gas en Elberfeld y se introdujo en 1840 el gas de aceite. Entre 1845 y 1850 se construyeron fábricas de gas en Stuttgart, Karlsruhe, Hamburgo, Núremberg, Munich. En 1855, la mayor parte

¹⁰ Estas empresas ordenadas cronológicamente fueron las siguientes: 1820: *Compagnie Française* (Larrieu, Brunton, Pilté & Cie.) (C.F.). 1821: *Compagnie Anglaise* (Manby, Wilson & Cie) (M&W). 1834: *Compagnie de Belleville* (Payn et Cie) (BV). 1834: *Compagnie Lacarrière* (LC). 1836: *Compagnie Parisienne* (Pauwels et Dubouchet) (P&D). 1839: *Compagnie de l'Ouest* (Gosselin & Cie) (GS) (Marechal: 1894: 7).

de las fábricas estaban en manos de los alemanes y la *Imperial Association* solo controlaba muy pocas de ellas. A partir de 1850 tuvo lugar una gran expansión del alumbrado por gas en Alemania de forma que el número de fábricas se incrementó desde 170 que había en 1850 hasta 340 que había en 1869 (Shelling, 1879:24).

2.6. Experiencias pioneras del gas de alumbrado en España

Los avances de la industria del gas que tuvieron repercusión en otros países de Europa también se dejaron sentir en España. En 1826, en Barcelona se realizó un experimento de iluminación de las salas de dibujo de la Junta de Comercio que representó la introducción del gas.

Hasta este momento, en el interior de las casas se utilizaban candelas, velas o lámparas de aceite para iluminarse. Más tarde las candelas fueron sustituidas por los quinqués de aceite, primero y de petróleo después. Incluso en las calles había lámparas de aceite adosadas a las paredes o colgadas en medio de la calle.

El artífice de la introducción de la nueva técnica de iluminación por gas fue José Roura Estrada (1797-1860) nacido en Sant Feliu de Guíxols y que se doctoró en la Universidad de Montpellier en 1820 con dos tesis. La primera se titulaba *Propositions sur l'oxygène, l'hydrogène, l'azote et le chlore* y la segunda, *Considérations sur la pesanteur spécifique*.

De regreso a Barcelona consiguió ocupar, como sustituto, la cátedra de Química aplicada

a las artes que sostenía la Junta de Comercio y de la que era el titular Francisco Carbonell Bravo (1768-1837). Esta cátedra, como otras similares creadas en España por esos años,¹¹ había contribuido a la introducción y difusión de la química moderna que, como no había tradición en esta disciplina, no produjo ningún tipo de resistencia similar a la que había sucedido con la nueva física respecto de la aristotélica (Lusa, 1997: XIII).



Retrato de José Roura.
Enciclopedia Espasa, tomo LII. Espasa Calpe, 1926

¹¹ La cátedra química del Seminario Patriótico de Vergara (1778), la de la Escuela de Artillería de Segovia (1792), la de Química aplicada a les Artes de Madrid (1798), el Real Laboratorio de Química de Madrid (1788), la cátedra del Colegio de Cirugía de Cádiz (1789). Y finalmente, en 1805, la de la Universidad de Valencia y la de la Junta de Comercio de Barcelona (Nieto-Galán, 1998: 177-190).

Durante su estancia en Francia, José Roura pudo ver diversas ciudades que estaban iluminadas por gas y por eso consiguió ser comisionado por la Junta de Comercio para viajar a París durante el verano de 1825 para estudiar la fabricación del gas de alumbrado. A su regreso construyó un gasógeno y convenció a la Junta de Comercio para hacer ensayos en sus locales. Tarea no demasiado fácil ya que en esos años el gas no tenía demasiado buena prensa. Se creía que perjudicaba los pulmones produciendo miasmos. Los libros de fisiología afirmaban que el gas se absorbía a través de la piel y afectaba a todo el organismo. Finalmente, el día de San Juan de 1826, en una de las salas de dibujo de la Casa Lonja de Mar de Barcelona se encendieron las luces de gas que estuvieron funcionando durante tres noches sucesivas.

El resultado satisfactorio de este experimento permitió a Roura conseguir una beca de la Junta para visitar Francia, Flandes y Holanda para perfeccionar las técnicas de alumbrado. A la vuelta, Roura construyó un nuevo gasógeno que le permitió iluminar diversas salas de la Lonja. La visita de los reyes Fernando VII y su tercera esposa en diciembre de 1827 agilizó las obras de manera que el alumbrado llegó no solo a las salas de dibujo sino también a la presidencia y al patio del edificio de la Lonja de Mar. La visita real fue un éxito y quedaron maravillados de la luz que se conseguía con el gas. Dos años después en 1829, con motivo de la visita de la infanta Cristina de las Dos Sicilias (que venía a casarse con Fernando VII en cuartas nupcias) hubo otra recepción en la Casa Lonja y para esta ocasión se iluminó el atrio y las salas de la Escuela de Nobles Artes (Fábregas, 1993: 38).

A raíz de la exposición de Madrid de 1831, le propusieron a Roura realizar una iluminación

extraordinaria para cuando la Reina tuviese su segunda hija. Se pretendía iluminar con gas los principales locales de la Corte. Así cuando en enero de 1832 nació la infanta María Luisa Fernanda (futura duquesa de Montpensier) se encendieron en Madrid 201 lámparas de gas en la Puerta del Sol y las calles de Alcalá, Montera, Carmen, Arenal, Mayor, Carretas, la Carrera de San Jerónimo y la Plaza de Oriente que funcionaron durante nueve noches consecutivas (Martínez No, 1993, 31-34).

Este experimento exitoso se vio enturbiado por unos artículos en El Correo en los que se criticaba el método de Roura para obtener gas. Roura se indignó mucho ya que consideraba que sólo se habían proferido calumnias contra su trabajo. En su defensa se publicó un artículo en el Diario de Barcelona firmado por Jerónimo Ferrer Valls testimonio presencial de los ensayos de 1826 y de los que afirma que fueron un éxito y no un fracaso como apuntaba el articulista del diario de Madrid. Finalmente Roura descubrió que el autor del artículo que lo calumniaba era Juan Peñalver director del Conservatorio de Artes, según él, un enemigo de la industria española y particularmente de la catalana. En años posteriores Roura continuó ensayando nuevos métodos de iluminación por gas, a partir de otras sustancias (cal viva, aceite de pescado, desperdicios del corcho, orujo de la uva y cospillo de la aceituna) (Lusa, 1996: 30) pero sus actividades no tuvieron una continuidad. Hasta 1841 sólo permanecieron iluminados por gas dos edificios, la Casa Lonja de Mar en Barcelona y el Palacio Real de Madrid.

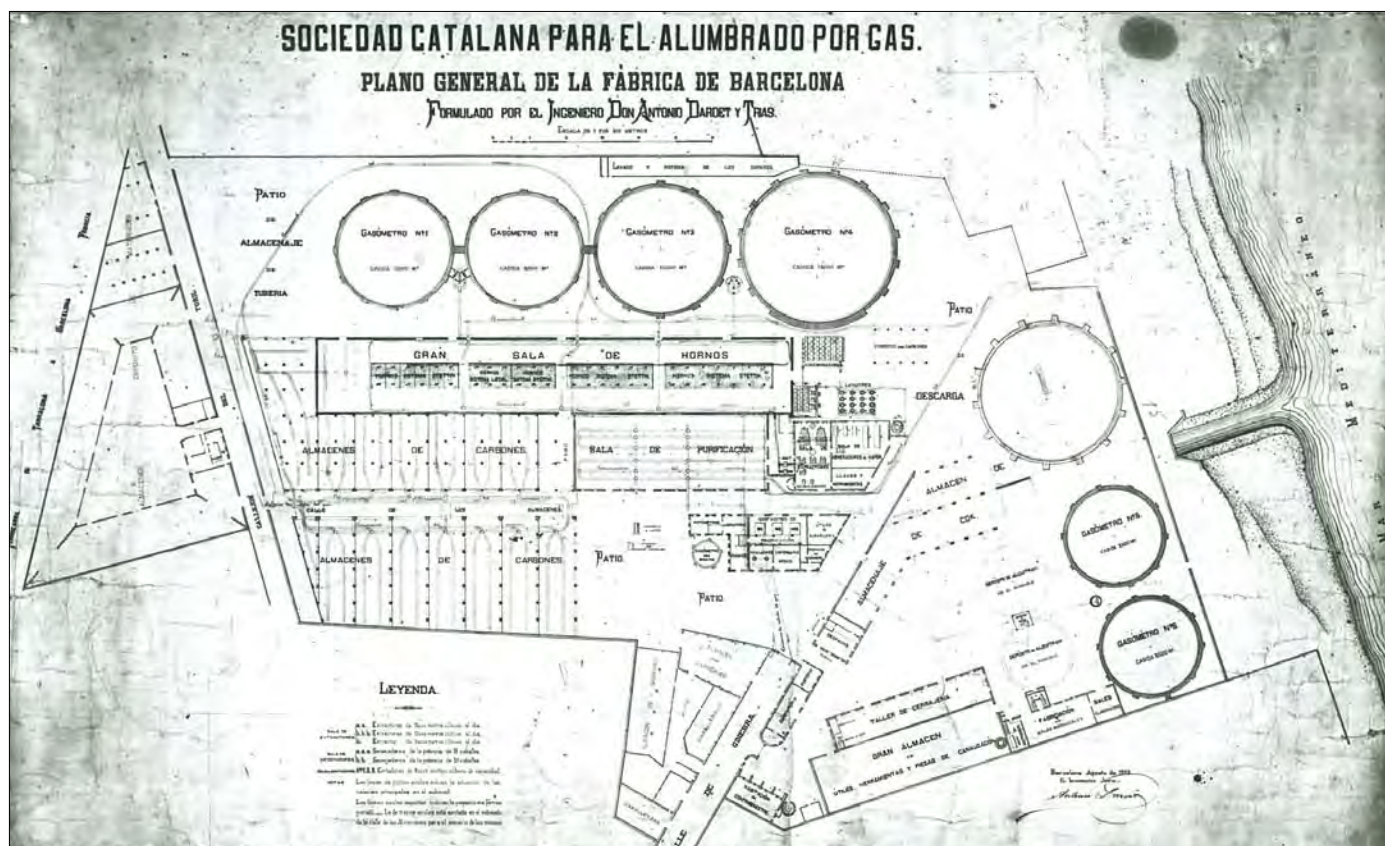
En Barcelona a partir de 1840 empezaron a presentarse iniciativas al ayuntamiento encaminadas a establecer el alumbrado por gas, de forma que este se vio en la necesidad

2. Orígenes y desarrollo histórico del alumbrado por gas

de tomar la decisión de abrir un concurso. Las ofertas presentadas tenían acento francés y, consecuentemente, francés fue quien finalmente firmó el primer contrato. Se trataba de Charles Lebon (1799-1877), personaje que consiguió tirar adelante el proyecto gracias a la ayuda de los banqueros Pere Gil y sus tres hijos, Pere, Josep y Pau Gil Serra que tenían banco en París. Así fue como se instalaron los dos primeros faroles de gas delante de la basílica

de Santa Maria del Mar en agosto de 1842 y se construyó una fábrica en la Barceloneta, al otro lado de la muralla de Mar. La constitución de la compañía que había de gestionarla, la Sociedad Catalana para el Alumbrado de Gas, conocida como La Catalana, se retrasó hasta enero de 1843, tal vez debido al bombardeo de la ciudad (Fabregas, 1993: 60-77).

Entre 1841 y 1864 hubo diversos intentos



Plano general de la fábrica de la Barceloneta en 1894 (Falgueras, S/F).

de implantar el gas en las proximidades de Barcelona. Uno de ellos fue el que se estableció en 1852 en la villa de Gracia por tres socios Ramón Salvador, José Martorell y Jaime Baulenas que constituyeron la compañía “La Propagadora de Gas” que construyó una fábrica entre las calles Córcega, Abdó Terradas, Torrent de l’Olla y Peligro, equipada con tres gasómetros que suministraban gas a Gracia y también a los pueblos vecinos de San Gervasio, Sarriá y Las Corts (Arroyo, 1992: 61.77). En Sant Andreu del Palomar se constituyó otra compañía de gas en 1856 fundada por Agustín Roca y otros socios locales que erigieron una fábrica con dos gasómetros (Arroyo, 1998:

49-60). Otro intento fue el que llevó el mismo Ayuntamiento de Barcelona en 1864 para romper el control de La Catalana mediante la creación de la empresa Gas Municipal cuya gestión cedió a Charles Lebon, que retornaba así a la actividad gasista en Barcelona después de haber sido apartado de La Catalana por los otros accionistas (Sudria, 1983: 97-118). Lebon constituyó la empresa Centrale d’Éclairage pour le Gaz, Lebon et Cie, que llegó a tener fábricas también en Alicante, Almería, Cádiz, Cartagena, Granada, Murcia, Puerto de Santa María, Santander y Valencia.

En esos años también se estableció alumbrado



Vista general de la fábrica de la Barceloneta, 1900 (AHFGNF).

por gas en otras ciudades. En Valencia, el mismo Charles Lebon, en 1843, con la ayuda de accionistas locales, creó la Sociedad Valenciana para el Alumbrado y en Cádiz, buscó la ayuda de Grafton y Goldsmidt para constituir una empresa en 1846 (Fernández, 2008). Ese mismo año se inició la andadura del gas en Madrid. Fue la compañía inglesa Manby & Partington que asumió un contrato anterior no materializado que el ayuntamiento había otorgado a Viejo Medrano y creó en 1846 la Sociedad Madrileña para el Alumbrado por Gas la cual alumbró ese mismo año la zona del Prado y la Puerta del Sol. Esta empresa fue revendida en 1856 a Crédito Mobiliario Español que dependía de Crédit Mobilier propiedad de los hermanos Péreire que posibilitaron la extensión del alumbrado público hasta 1865. Posteriormente paso a denominarse Compañía Madrileña de Alumbrado y Calefacción por gas..

A partir de 1859 la industria del gas se fue extendiendo a otras ciudades españolas y la importancia de la presencia extranjera se incrementó con la entrada de la Compañía General de Crédito en España de la que el principal accionista era Albert Prost. Esta compañía en 1859 obtuvo la concesión para alumbrar siete ciudades: Albacete, Alicante, Burgos, Cartagena, Jerez, Pamplona y Valladolid. A excepción de Albacete en que el proyecto gasista se abandonó, en las otras ciudades se fueron construyendo diversas fábricas entre 1859 y 1863. En 1864 sus fábricas pasaron a la Sociedad Holandesa para la Explotación de las Fábricas de Gas en España y de ahí a la Compañía Madrileña de Alumbrado y Calefacción por Gas, controlada por el Crédito Mobiliario Español (García de la Fuente, 1985).

El desarrollo del gas en España fue desigual y alcanzó un alto grado de concentración en Cataluña donde se fueron gasificando otras ciudades como Sabadell (1852), Reus (1854), Mataró (1855), Igualada (1856), Tarragona (1858), Terrassa (1860), Lleida (1862) de manera que en el censo de fábricas de gas de 1861 se registraron 11 de ellas en Cataluña de las 25 que había en total en España y de las cuales 4 estaban en Andalucía. Por ello se puede afirmar que el consumo del gas estaba decantado hacia la zona costera mediterránea. Esta tendencia se mantuvo a principios del siglo XX ya que en el censo de fábricas de gas de 1901 de las 81 fábricas que había en España, 33 estaban ubicadas en Cataluña, 15 en Andalucía, 8 en Valencia, 6 en Baleares y 3 en Murcia lo que representaba más del 80% del total de metros cúbicos producidos en las fábricas de gas de toda España. De todas las ciudades españolas que consumían gas solamente Barcelona con 75 m³/habitante y Cádiz con 73 m³/habitante mantenían unos niveles de consumo similares a los de otras ciudades europeas. Este consumo estaba por debajo del de París que era de 117 m³/habitante y era más similar al de las ciudades alemanas que en promedio consumían 76 m³/habitante (Sudrià, 1983: 109).



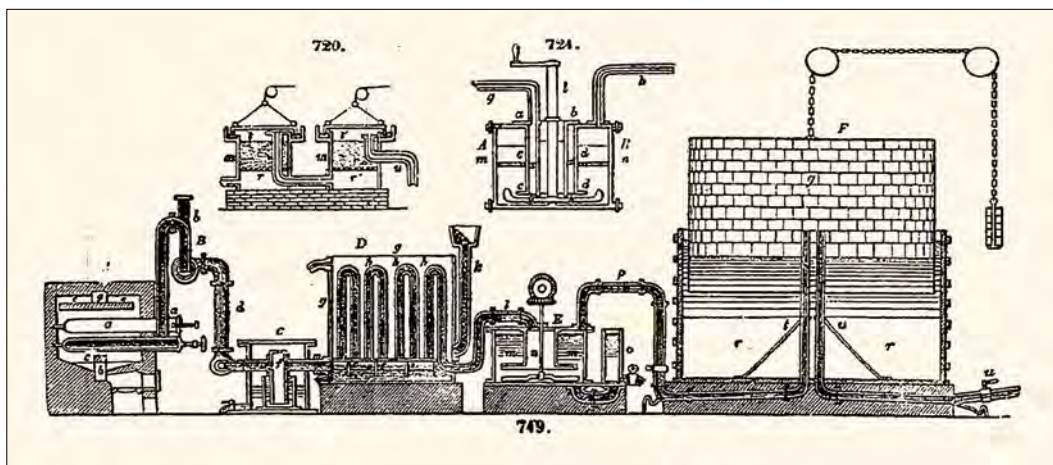
3. El proceso de producción de gas de hulla

La producción de gas a partir de la hulla consistía en destilar este producto en unos recipientes cerrados o retortas mediante la aplicación de calor. El gas que se producía, después de ser depurado de las sustancias no deseadas que le acompañaban, se almacenaba y se distribuía entre los usuarios. Por eso podemos establecer en un principio seis fases diferentes en el proceso de producción de gas: Destilación, condensación o depuración física, depuración química, almacenaje y finalmente distribución.

todos los elementos de una fábrica de gas de hulla: el horno y retortas, primero, los tubos montantes y el barrilete, después, el juego de tubos verticales del condensador, las depuradoras situadas antes y después del condensador y al final el gasómetro.

3.1. La destilación de la hulla

Destilar la hulla consistía en someter este mineral a un calor muy elevado de manera que



Esquema de una fábrica de gas de hulla (Laboulaye, 1873: I, 1206).

La destilación y la depuración son operaciones que tenían una repercusión directa en el poder lumínico del gas, la primera además influía en el precio de venta dado que las retortas donde se realizaba tenían que cambiarse regularmente. La figura anterior nos muestra

desprendía un gas compuesto de hidrocarburos idóneos para el alumbrado y otros elementos no tan deseados como monóxido de carbono, hidrogeno, sulfhídrico, amoníaco, anhídrido carbónico, vapor de agua y alquitrán. Como residuo sólido quedaba en la retorta el coque.

El alquitrán, el vapor de agua y los vapores amoniacales condensaban fácilmente, pero los otros productos eran más difíciles de eliminar. No todos los hidrocarburos producidos tenían igual calidad para el alumbrado. Los más indicados eran los que contenían tanto carbono como hidrógeno. Cuanto más hidrógeno tenía el hidrocarburo, peor era la llama obtenida. En la combustión, los primeros gases que se obtenían poseían mayor poder lumínico ya que estaban cargados de carbono, pero los últimos, en cambio eran peores. La mezcla que tenía lugar en el gasómetro permitía obtener un gas adecuado a los usos a los que iba destinado.

hulla tenía que ser de extracción fresca y no estar húmeda. Un 10% de agua disminuía un 30% la producción de gas y debilitaba su poder lumínico.

Una buena hulla destilada a temperatura apropiada puede producir por cada 100 kg entre 68 y 75 kg de coque, 5 o 6 kg de alquitrán, unos 6 a 8 litros de aguas amoniacales y entre 28 y 32 m³ de gas (Darcel, 1878: 14).

Estos valores varían según la procedencia de la hulla. En la tabla siguiente se recoge los rendimientos obtenidos por las hullas de diversas procedencias.

Cuadro 3.1. Rendimientos proporcionados por diferentes tipos de hullas

Productos cada 100 kg.	Hullas inglesas	Hullas belgas y del norte de Francia	Hullas de Commentry y de Chansac	Hullas de Du Gard
Gas	28 a 32 m ³	28 a 32 m ³	26 a 31 m ³	20 a 26 m ³
Alquitrán	4 a 6 litros	3 a 5 litros	3 a 6 litros	3 a 5 litros
Aguas amoniacales	6 a 8 litros	6 a 6,5 litros	5 a 7 litros	5 a 6 litros
Coque	67 a 75 kg	67 a 75 kg	67 a 79 kg	58 a 70 kg

Fuente: Borias, 1890: 214.

La elección del tipo de hulla también era un factor fundamental para conseguir una combustión apropiada y una llama fuliginosa como se requería en el alumbrado por gas. Igualmente era indispensable que se produjese un coque de buena calidad ya que era un residuo que proporcionaba beneficios. La

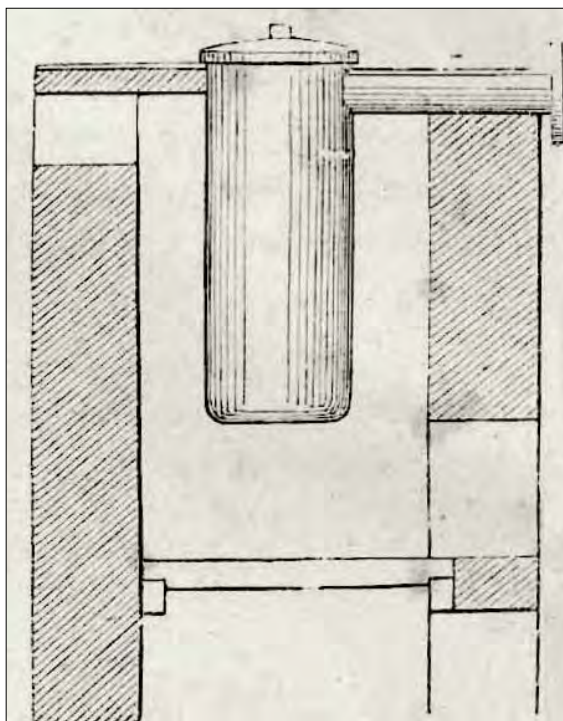
El tipo de hulla utilizada da como resultado un gas de diferente composición más o menos adaptada a las necesidades del alumbrado. Pero en líneas generales, por 100 kg de carbón de hulla inglesa se puede obtener en peso un 8,7 % de hidrocarburos un 1,2% de monóxido de carbono e igual cantidad de anhídrido

carbónico, y un 1% aproximadamente de otros gases como el sulfhídrico, el hidrógeno y el nitrógeno. Como residuo se obtiene un 8% de aguas amoniacales, un 12,4% de alquitrán y 68% de carbón de coque (Borias, 1890: 233).

3.1.1. Las retortas utilizadas por Murdoch

Como hemos explicado anteriormente, William Murdoch en marzo de 1802 construyó un aparato para fabricar gas destinado a la fundición que la empresa Boulton & Watt tenía

en Soho cerca de Birmingham. En esta primera ocasión Murdoch utilizó una retorta vertical como la de la figura adjunta. Se trataba de un cilindro de fundición dispuesto verticalmente sobre un hogar situado en la parte baja del edificio. La retorta estaba tapada con una tapa de fundición y tenía un tubo lateral para la salida de los productos de la destilación. Por allí salía el gas que se dirigía hacia un recipiente de cobre donde era almacenado y de allí se distribuía a dos antorchas tipo bengala que iluminaban cada extremo exterior de la fábrica mientras que el interior continuaba aún iluminado con lámparas de aceite.

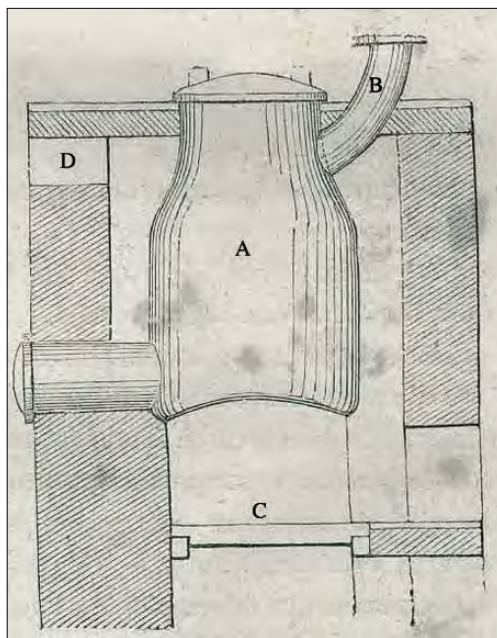


Primera retorta inventada por Murdoch (Clegg, 1860:13).

Al año siguiente toda la fundición de Soho fue iluminada por gas. El gas salía de las retortas a un gasómetro de unos 8,5 m³ capacidad¹² y de allí era conducido a través de tubos de cobre soldados a unos mecheros.

En la retorta cilíndrica, la hulla se introducía por la parte superior con ayuda de una pequeña grúa que también servía para extraer el coque resultante. No obstante presentaban el inconveniente de no tener una abertura en su parte inferior que facilitase su vaciado por lo que Murdoch ideó otros tipos de retortas

que fuesen más cómodas. Modificó su forma cilíndrica pasando a una forma más abombada que tenía un tubo en la parte inferior para la salida del coque. Murdoch instaló estas retortas en la hilatura de algodón de Phillips & Lee de Salford en 1805 que fue su primer encargo de alumbrado de gas. Tenían unas dimensiones considerables para dar cabida a 762 kg de hulla. Estas nuevas retortas le plantearon también nuevos problemas. El carbón, atacado vivamente por el fuego, las recubría de una capa superficial carbonizada que impedía la penetración del calor en su interior.



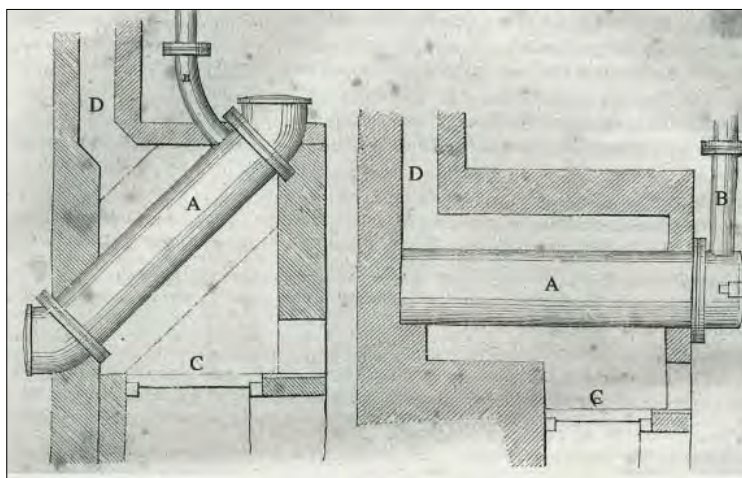
En la figura A es la retorta, B el tubo de salida del gas, C el hogar y D el conducto de humos que conectaba con la chimenea (Clegg, 1860:13).

¹² 300 pies cúbicos (1ft³=0,028317 m³) (Clegg, 1860:13).

La instalación de gas de alumbrado de la hilatura Phillips & Lee le comportó a Murdoch alguna dificultades más. Sucedió que el alquitrán que se formaba en la destilación se condensaba y taponaba los tubos de distribución, por lo que necesitó introducir sifones y pozos a lo largo de todo el recorrido para que retuvieran ese alquitrán. Además, el gas producía un olor molesto que aún no se sabía como eliminar.

3.1.2. Las dobles retortas

En 1812, Samuel Clegg instaló alumbrado por gas en el taller de impresión de Rudolph Ackermann (1764-1834) de Londres. Dispuso dos retortas cilíndricas horizontalmente, una encima de la otra, calentadas por un mismo horno. Ackermann escribió a Frederick Christian Accum (1769-1838) una carta en la



Otras disposiciones de retortas ideadas por Murdoch (Clegg, 1860:14).

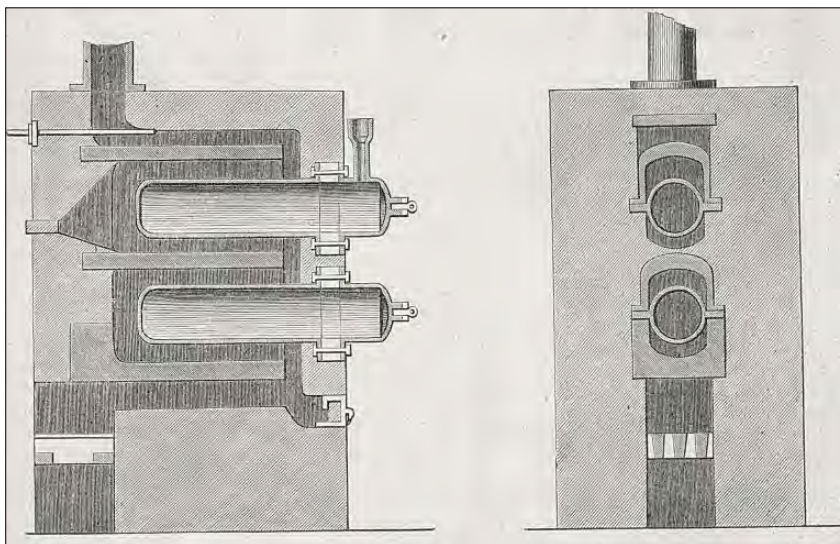
Posteriormente, Murdoch pensó en una nueva disposición. Diseñó una retorta oblicua con dos salidas por sus extremos al exterior del horno. La obertura superior servía para la alimentación del carbón y la inferior para el vaciado del coque. Finalmente, Murdoch adoptó la disposición de la retorta horizontal con una cabeza provista de tapa y tubo montante que fue la que se utilizó durante mucho tiempo.

que explicaba como utilizaba esta instalación: “Las lleno” al mismo tiempo con 240 libras de carbón mitad Canner-coal y mitad de Newcastle, y obtengo 1.000 pies cúbicos de gas.¹³ Cuando las retortas están frías hago fuego con 100 a 110 libras de carbón ordinario; pero cuando las retortas están en servicio, solo necesito 25 libras para cada retorta” (Schilling, 1868: 133).

¹³ Se trataba de 23 m³ de gas por cada 100 kg de carbón.

Desde 1810, la empresa *Chartered Gas Company* había empezado a hacer ensayos de producción de gas a gran escala y Winsor, Accum y Margraves consiguieron una patente para hornos de varias retortas como las representadas en la figura siguiente.

se hicieron siguiesen fielmente la patente pero sí se conservó el principio de circulación de la llama a lo largo de la retorta. Evidentemente, la retorta inferior se estropeaba más pronto que la superior, a veces, incluso antes que la de arriba alcanzase la temperatura necesaria para iniciar la destilación. Los gastos del horno eran muy elevados y la destilación poco provechosa.



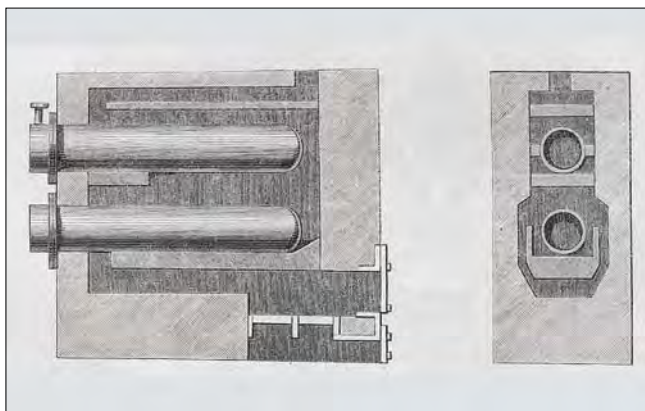
Horno de dos retortas (Schilling, 1868: 133).

Estas dos retortas también eran cilíndricas y se apoyaban sobre la mampostería del horno por unos salientes laterales que las mantenían en posición horizontal. Las llamas se generaban en el hogar que estaba situado en la parte posterior del horno, de forma que no tenían contacto directo con la retorta sino que la llama estaba obligada a hacer un recorrido en zigzag a lo largo de todas las retortas. No es absolutamente seguro que todos los hornos que

El problema estaba en el sistema de circulación de la llama que había estado inspirado en las calderas de vapor. El mayor fracaso sucedió cuando se ensayó con este mismo sistema hornos con tres y con cuatro retortas. Entonces los gastos de inversión fueron mayores y el volumen de gas obtenido, inferior. Además las retortas se quemaban dos terceras partes de tiempo antes que en los hornos de dos retortas donde el recorrido de la llama no era tan largo.

3. El proceso de producción de gas de hulla

Unos siete u ocho años tardaron a darse cuenta que el problema estaba en el sistema de circulación de la llama. Primero redujeron el recorrido de la llama en los hornos de dos retortas. Como se puede ver en la figura siguiente, el hogar, que sigue en la parte posterior del horno, reparte la llama, primero longitudinalmente y luego se ramifica lateralmente de manera que llega a las dos retortas y además recorre la retorta superior en toda su longitud, saliendo por la chimenea (Schilling, 1868: 134).

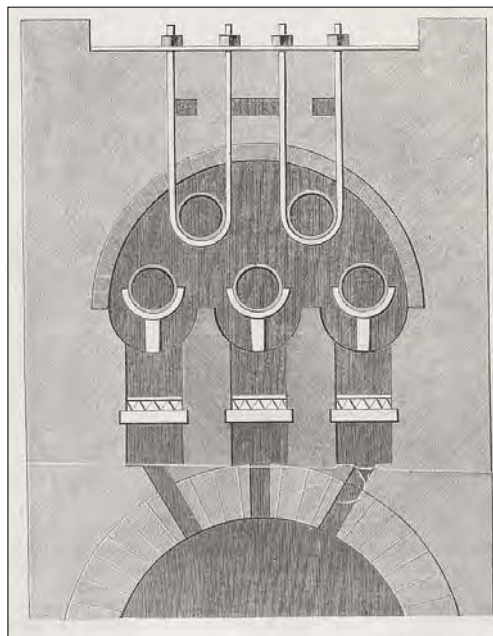


Horno con repartimiento de llama
(Schilling, 1868: 134).

Este tipo de retortas tenían una longitud de 1,8 m, una anchura de 30 cm y un espesor de 3 cm. Eran de fundición de hierro y por ello pesaban unos 500 kg cada una. Según Thomas S. Peckston en esas retortas se destilaban 50 kg de hulla mediante una combustión de 10 kg de combustible y tenían una duración de 8 a 10 meses solamente (Peckston, 1841: 111).

A finales de 1817, se pusieron las retortas

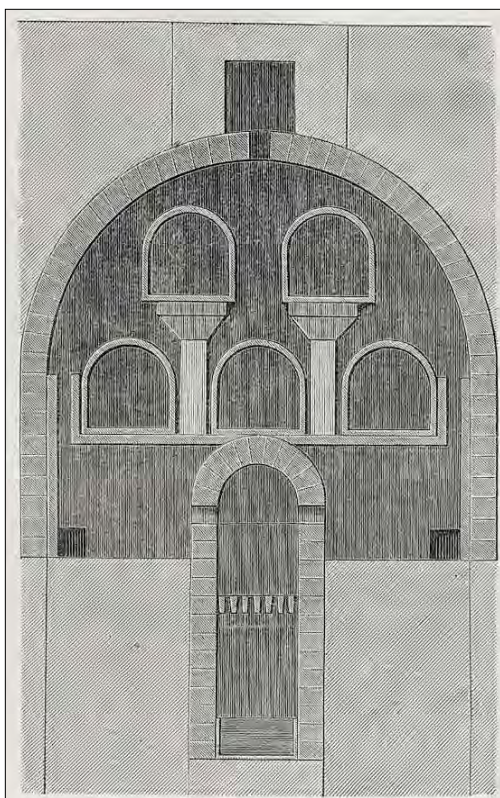
directamente a la acción del fuego sin ningún tipo de conductos de circulación. Primero se construyó un horno de una sola retorta y posteriormente se fueron añadiendo 2, 3, 4 y 5 con unos resultados ventajosos a medida que aumentaba el número. El horno de 5 retortas, que aparece en la figura siguiente, colocó la producción de gas a gran escala en el buen camino.



Horno de cinco retortas con fuego directo
(Schilling, 1868: 135).

Obsérvese que las tres retortas inferiores reposan sobre unos soportes de fundición mientras que las dos superiores están suspendidas del techo mediante unos semicírculos de hierro. La llama las envuelve a todas ellas a lo largo de su longitud obteniéndose una mayor igualdad en la

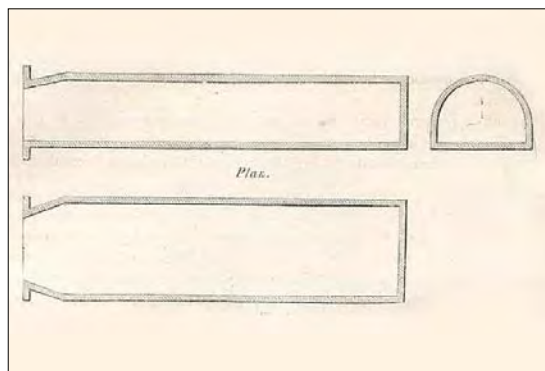
distribución de la temperatura. James Malam, ingeniero que sustituyó a Samuel Clegg en 1818 en la dirección de *Chartered Gas Company*, introdujo una mejora esencial en el horno anterior consistente en modificar la forma de la retorta de circular a elíptica. Con esta nueva forma de la retorta se conseguían unas capas de carbón más homogéneas y en consecuencia una mejor destilación. Se decía que una retorta elíptica destilaba la misma cantidad que una circular en la mitad de tiempo. Malam lo aplicó en una de sus fábricas de gas después que en esa empresa



Horno de cinco retortas en D (Schilling, 1868: 138).

se hiciesen ensayos con retortas de diversas formas como las de sección rectangular o las de forma de D. Estas últimas eran más beneficiosas que las elípticas pero tenían el inconveniente de durar menos porque el fuego afectaba a las aristas. Las retortas en forma de D acabaron por sustituir a las elípticas cuando se solucionó la manera de apoyarlas sobre soportes refractarios y se supo proteger las caras que estaban más directamente en contacto con el fuego. El tratado de Schilling presenta un modelo de horno con cinco retortas en forma de D que no es otra cosa que el anterior con retortas en D protegidas y con el hogar en la parte exterior.

Así, la forma utilizada por las retortas de fundición era la D, con una altura de arco similar a la anchura y con unas dimensiones de ancho 37,5 cm por 32,5 cm de alto y una longitud que oscilaba entre 2,10 m a 2,70 m. Aunque también había algunas retortas de 6 m de longitud que solían estar abiertas por los dos extremos. El dibujo siguiente nos muestra la sección longitudinal y transversal de una retorta (Clegg, 1860: 106).



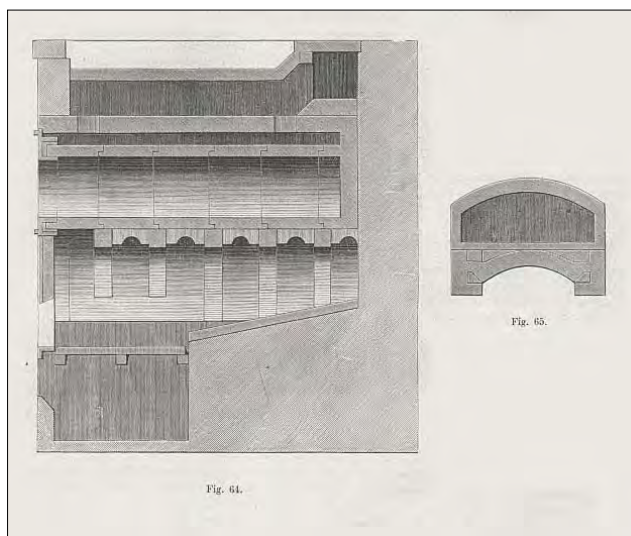
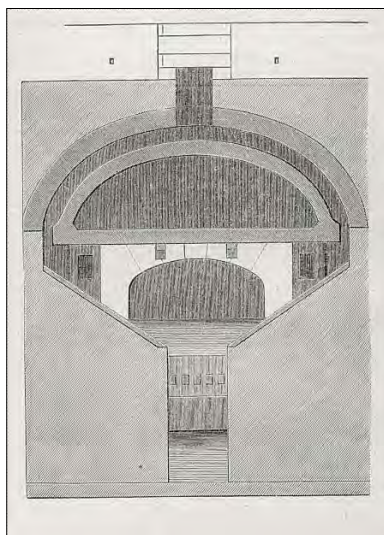
Sección de una retorta (Clegg, 1860: 106).

3.1.3. Las retortas refractarias

En 1828 en Edimburgo, John Grafton patentó las retortas de tierra refractarias que resultaban más económicas que las de fundición y duraban unos 2 o 3 años mientras que las de fundición a penas un año. A pesar de las ventajas que ofrecían no fueron introducidas de inmediato ya que presentaban la dificultad de mantener la estanqueidad y porque se les adhería grafito en su interior que resultaba difícil de extraer. Además requerían una cantidad mayor de combustible. Estas razones, añadidas a la rutina, hicieron que se retrasase su uso generalizado, de manera que en 1851 solo había dos hornos de cinco retortas de este tipo en la South Metropolitan de la Old Kent Road.

La retorta de tierra refractaria inventada por Grafton tenía 1,5 m de ancho 45 cm de alto y estaba formada por fragmentos de 40 cm de

longitud que se unían y soldaban con la misma tierra refractaria hasta alcanzar un total de 2,10 m. Destilaban 328 kg de hulla y se cargaban cada 6 horas. Las primeras las construyeron de forma cuadrada para la fábrica de Butcher en Wolverhampton, aunque pronto adoptaron otras formas, de manera que cuando se difundió su uso se habían generado diversos tipos, desde las que eran de una sola pieza, con formas de retorta diversas como circular, oval o en forma de D, a las formadas por diversas piezas. Thomas Spinney, de la fábrica de Cheltenham, modificó la retorta de Grafton construyéndola de gran dimensión con ladrillos de tierra refractaria de manera que la solera y los lados estaban hechos de tierra de Newcastle mientras que la parte superior de tierra de Stourbridge mezclada al 10% con arena de río y arcilla. Esta adición servía para impedir las fisuras. La figura siguiente muestra una sección de este tipo de retortas (Schilling, 1868: 141).

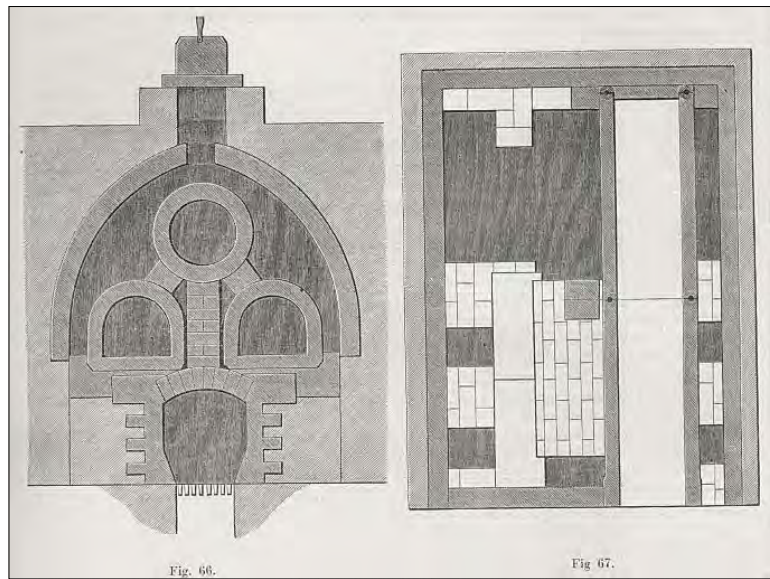


Horno de Spinney (Schilling, 1868: 141).

Siguiendo el ejemplo de Spinney, en Birmingham se construyeron unas retortas de ladrillos refractarios de 6 metros de largo abiertas por cada extremo. Sin embargo, posteriormente se renunció a las retortas de grandes dimensiones y fueron reemplazadas por otras de tierra refractaria de dimensiones análogas a las de fundición. Se fabricaron de una sola pieza o en fragmentos y las de ladrillos solo se utilizaron excepcionalmente. La figura siguiente nos muestra un horno de tres retortas de tierra refractaria de 2,25 m de largo que combina la forma en D, para las retortas inferiores, con la circular para la superior. El hogar está recubierto por una bóveda con una salida para los productos de la combustión por la parte superior de manera similar a los hornos que utilizaban retortas de fundición.

La difusión de las retortas de tierra refractaria se consiguió con la introducción de los exhaustores, aparatos similares a unos extractores de gas que evitaban las pérdidas y reducían la formación de grafito en su interior debido a que el gas salía más deprisa de la retorta. En Alemania, este tipo de retortas se introdujeron rápidamente y tuvieron un éxito notable (Schilling, 1868: 146).

En la fábrica que la Catalana de Gas tenía en la Barceloneta había, en 1844, ocho hornos de los cuales dos eran de cinco retortas de hierro y los otros de ladrillo refractario de una sola retorta cada uno (Falgueras, 52). Dos años después había dos hornos más de tierra refractaria como lo describía Pascual Madoz en el *Diccionario Geográfico Estadístico Histórico*: “La fabrica en



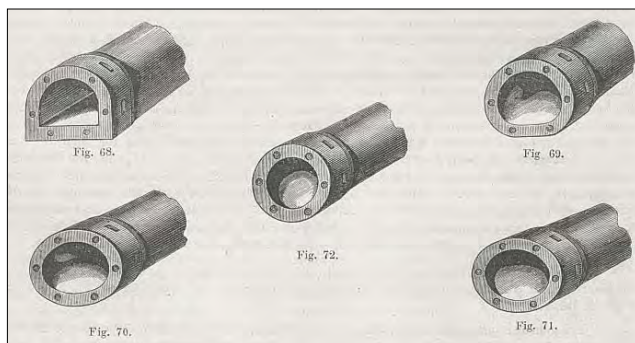
Horno de Clift (Schilling, 1868: 143).

el mes de abril del corriente año, [1846] que es cuando nosotros la vimos, contenía 10 hornos, a saber: 2 de 5 retortas de hierro colado cada uno, y 8 de una retorta de ladrillos refractarios, las cuales estaban funcionando: cada una de estas últimas equivale a tres de las primeras. Notamos que se reconstruían muchos hornos derribados” (Madoz, 1845-1850: III, 91).

Superadas las rutinas y los inconvenientes, las retortas de tierra refractaria resultaron más baratas y más duraderas que las de fundición. Además como las temperaturas de uso resultaban más elevadas, la cantidad del gas obtenido era mayor y de una calidad similar.

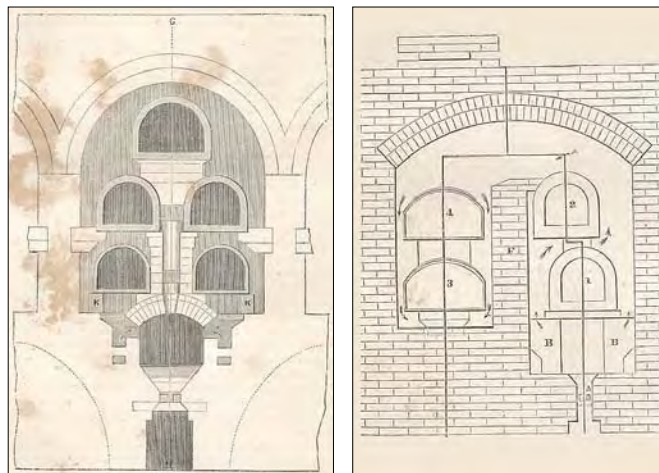
3.1.4. La combinación de retortas refractarias y de fundición

Como las retortas de tierra refractaria trabajaban a altas temperaturas, los vapores de combustión salían a gran temperatura y podían ser recuperados. Esto es lo que hizo el ingeniero George Lowe (1788?-1868) que se le ocurrió recuperar este calor perdido reconduciéndolo a unas retortas de fundición que trabajaban a temperaturas menores. Así fue como dispuso en un mismo horno retortas de los dos tipos, invento que patentó en 1829. La figura de abajo muestra a la izquierda la sección transversal de su método.



Diferentes formas de retortas de tierra refractaria (Schilling, 1868: 146).

Las retortas más extendidas fueron las de forma de D aunque, para que resistiesen mejor la acción del fuego, las aristas se solían redondear. Se prefirieron éstas a las elípticas, a pesar de que duraban más. Las dimensiones se fueron estandarizando entre 2,10 y 2,70 de longitud, 40 a 55 cm de anchura y un espesor de 5 a 7 cm. Su peso variaba entre 420 a 700 kg (Schilling, 1868: 145).



A la izquierda sistema Lowe y a la derecha sistema Croll (Clegg, 1860: 136, 138).

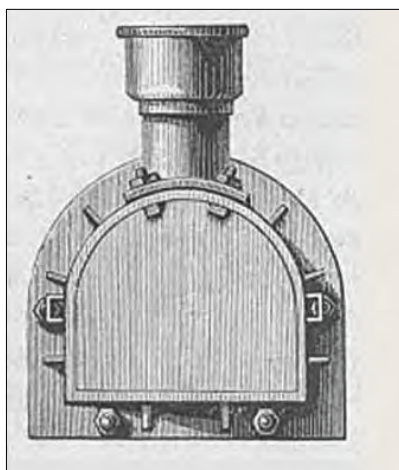
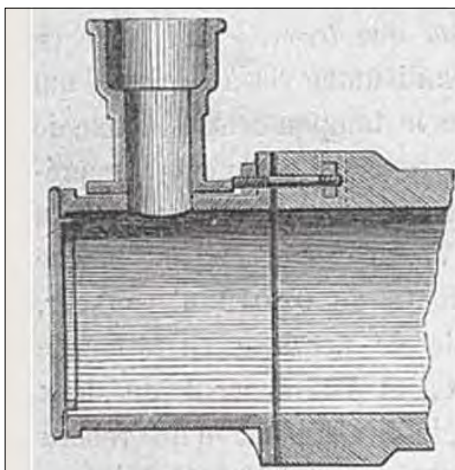
Las tres retortas superiores eran de tierra refractaria mientras que las dos inferiores de fundición. Las de arriba estaban expuestas al calor directo del hogar. Después el aire caliente era conducido por el lateral a las

dos retortas inferiores. De esta manera se obtenía una economía de combustible. Pero presentaban el problema que las de fundición se deterioraban muy rápido y tenían que ser sustituidas desmontando parte del horno, lo que resulta bastante oneroso.

A otro ingeniero, llamado Alexander Angus Croll (1808-1887), se le ocurrió otra disposición en la que las retortas refractarias y de fundición estuviesen bien en el mismo horno, separadas por una pared, o en hornos diferentes. En el primer caso, que se puede ver en la figura de la derecha, la pared no llegaba hasta la bóveda del horno de manera que permitía la recuperación de los vapores de la combustión para calentar las retortas de fundición situadas a la izquierda. Estos sistemas de hornos con retortas combinadas estuvieron en funcionamiento en la fábrica *Surrey Gas Consumers Company* que dirigía el propio Croll (Clegg, 1860: 137-139).

3.1.5. Las cabezas de retorta

Todas las retortas, sean refractarias o de fundición, tenían una prolongación que salía fuera del horno que se denominaba cabeza de retorta y de la cual salía el tubo montante que conducía los productos de la destilación a un recipiente llamado barrilete. La cabeza solía ser de dimensión similar a la retorta, cosa aconsejable para facilitar el vaciado, y su longitud había de permitir de manera holgada la ubicación del tubo montante. Todas las retortas tenían la cabeza de fundición que servía tanto para cargar como para descargar la retorta. En las retortas de fundición, las cabezas se ajustaban con pernos, mientras que en las de tierra refractaria los pernos se encajaban en unos agujeros practicados en la arcilla antes de cocerla para situar los pernos posteriormente. La estanqueidad se conseguía con masilla (*mastic*) que era un producto que se componía de sal amónica, limaduras de hierro y azufre.

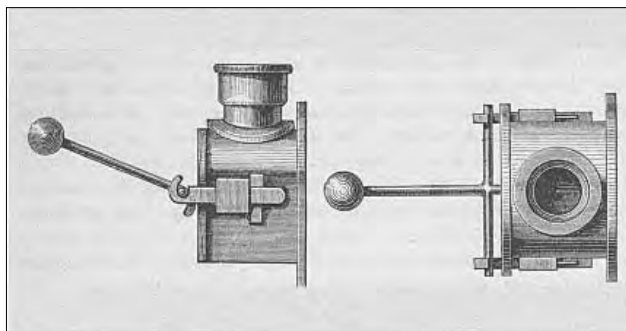
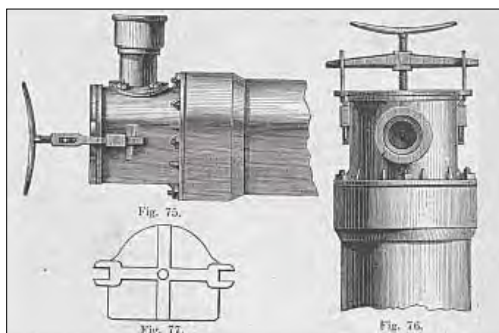


Vista lateral y frontal de la cabeza de una retorta con el tubo montante (Schilling, 1868: 148).

3. El proceso de producción de gas de hulla

Para cerrar la retorta, la cabeza disponía de una tapa hermética como indica la figura adjunta. Las tapas eran, en un principio de fundición independientemente del tipo de retorta, pero posteriormente se construyeron de chapa de 9 mm de espesor y en algunas ocasiones el cierre se efectuaba mediante un eje curvado provisto de una bola en su extremo en lugar de la cruceta y el tornillo.

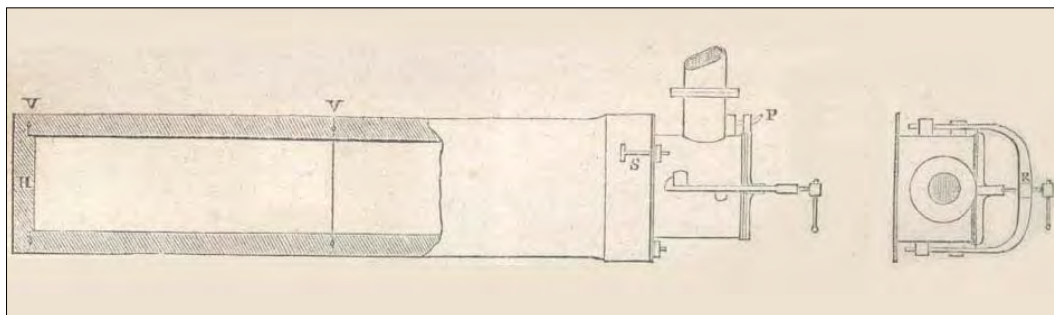
utilizaba el sistema tradicional de introducirla con pala, pero posteriormente se introdujo una cuchara de forma de medio cilindro que reducía el tiempo en que la retorta estaba abierta y evitaba pérdidas de gas.



Sistemas de cerramiento de las cabezas de retorta (Schilling, 1868: 148).

Por la cabeza de la retorta se efectuaba la carga que solía ser de unos 75 kg y que destilaba unas seis horas. Para introducir la hulla se

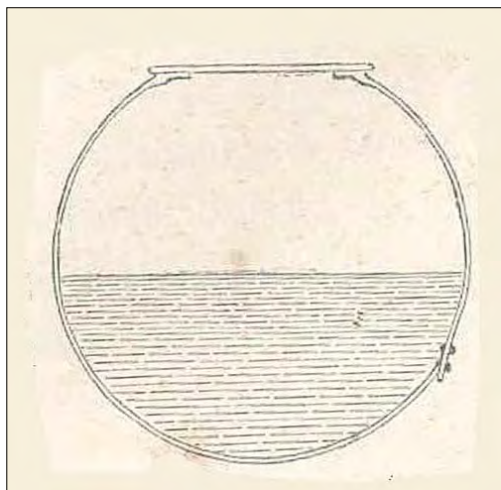
La figura siguiente muestra como se montaban las dos partes de una retorta, cabeza y cuerpo, cuyas uniones sellaban con masilla.



Dibujo esquemático de la cabeza y el cuerpo de una retorta (Clegg, 1860: 132).

3.1.6. Los barriletes

El gas que salía de la retorta por los tubos montantes iba acompañado de vapores de alquitrán y de agua. Para retener parte de este alquitrán se hacía pasar el gas por un recipiente cilíndrico llamado barrilete en donde estos vapores se condensaban. Los tubos montantes, que salían de las cabezas de las retortas, ascendían por encima del horno hasta una cierta altura desde donde descendían oblicuamente hasta el barrilete. Entonces se sumergían en su interior. Allí se formaba una capa de agua y de alquitrán (Schilling, 1868: 150). El barrilete era de fundición o de chapa y tenía generalmente una forma cilíndrica. Estaba situado de manera horizontal paralelamente a la parte frontal del horno y encima de la mampostería del mismo. Se apoyaba sobre unos soportes metálicos para evitar el contacto con el horno e impedir que el



Sección de un barrilete (Clegg, 1860: 110).

alquitrán, que se depositaba en su interior, se calentase demasiado ya que entonces se evaporaba transformándose en brea. En la parte inferior del barrilete se depositaba el alquitrán que se recogía a través de un tubo en forma de sifón, mientras que el resto del gas se escapaba burbujeando hacia la parte superior saliendo por otro tubo. Habitualmente el barrilete estaba fraccionado para cada horno o para varios, de manera que los tubos de gas y los de recogida del alquitrán reunían los productos de toda la batería en sus respectivos colectores.

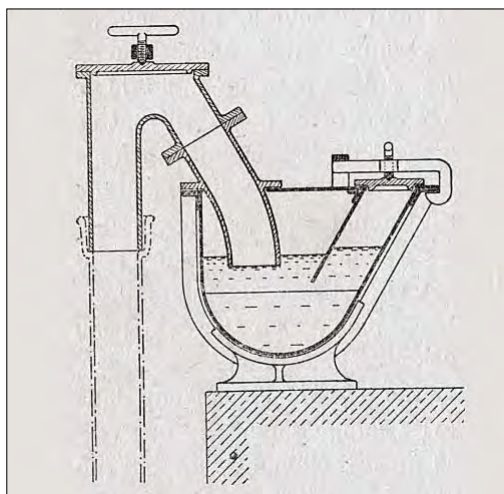
Los tubos montantes tenían que tener una dimensión considerable para evitar que el alquitrán los obstruyese. No obstante en las fábricas inglesas se solían adoptar tubos de poco diámetro y bastante largos, mientras que en las francesas eran un poco más gruesos y más cortos. De todas maneras los diámetros y las longitudes dependían del tipos de carbón utilizado y del grado de calentamiento a que se le sometía (Darcel, 1878: 21).

En la fábrica de la *Phoenix Gas Company* se utilizó con éxito el primer barrilete de chapa, tenía un diámetro de 0,612 m, era mayor que los de fundición, y su longitud considerable era de 6,90 m. Estaba construido de chapa de caldera de 1 cm de espesor de forma circular y con la parte superior plana por donde entraban los 21 tubos que se sumergían en su interior.

En la determinación de las dimensiones para la construcción del barrilete había que tener en cuenta que el alquitrán no tenía que descender nunca por debajo de los tubos sumergidos, ni tampoco que subir excesivamente obstruyendo el paso del gas.

A veces el alquitrán que se recogía en el barrilete se utilizaba como combustible en

el horno mezclado con coque o con hulla. El alquitrán, sin embargo presentaba la dificultad de producir una llama violenta que deterioraba el horno y por eso sólo se utilizaba en hornos que llevaban mucho tiempo en funcionamiento y estaban destinados a la renovación. George Anderson patentó un hogar especialmente preparado para quemar alquitrán en mejores condiciones y lo aplicó a algunas fábricas con



Barrilete húmedo (Grebel, 1924: 338).

éxito (Clegg, 1860: 109-111).

El barrilete primitivo inventado por Clegg en 1822 tuvo pocos cambios a lo largo de los años. Solamente se introdujeron mejoras encaminadas a evitar las obstrucciones del alquitrán en los tubos montantes. Sin embargo se pueden distinguir dos tipos de barriletes, los llamados húmedos y los secos.

Los barriletes húmedos se caracterizaban

por disponer de un tabique longitudinal que facilitaba la retirada del alquitrán. Este proceso requería la abertura de un registro hermético que afectaba a la presión del interior del tabique separador. Si la presión en su interior era superior a la atmosférica el nivel del agua subía más en el compartimento del tabique y no descendía tanto en el resto del barrilete evitándose así que el gas retornara de nuevo a la retorta. Los barriletes húmedos fueron los que se usaron durante más tiempo pero poco a poco fueron sustituidos por los barriletes secos hasta convertirse éstos en los únicos en ser utilizados.

Los barriletes secos se caracterizaban por que circulaba alquitrán fluido para disolver por el calor los alquitranes endurecidos que se depositaban en su interior. El aparato era de chapa de 8 mm de espesor de forma de casquete esférico de 1,20 a 1,5 m de altura y anchura. Las columnas montantes estaban unidas al barrilete por unas cajas de válvula accesibles. El tubo de aspiración del gas estaba conectado en la parte central superior del barrilete mientras que el alquitrán era conducido por unos tubos especiales para su evacuación (Grebel, 1924: 338).

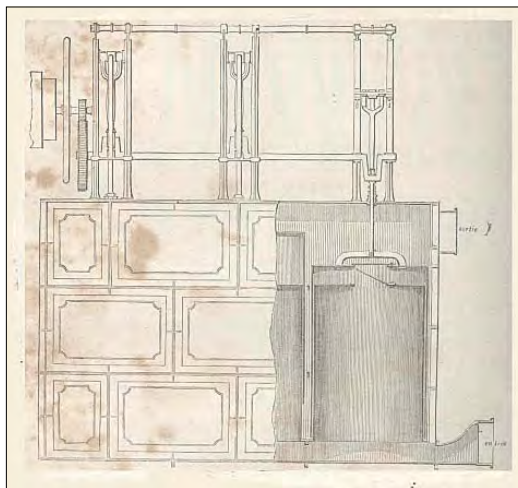
3.1.7. Los extractores

En las retortas de tierra refractaria la presión que se podía ejercer en su interior tenía una gran influencia en la destilación. Como las retortas eran porosas, permitían el paso de aire y por eso se aconsejaba que estuviesen a una presión similar a la atmosférica. Aunque normalmente solía ser superior. Una presión muy elevada ocasionaba que el gas se quedase en el interior de la retorta más tiempo del necesario y que sus

paredes se calentasen, se formase más grafito y que alguna cantidad de gas se perdiese a través de la tierra refractaria que era permeable. Una sobrepresión de 55 mm columna de agua ocasionaba una pérdida de un 1%, cantidad que se incrementaba proporcionalmente con la presión. Tampoco era aconsejable mantener este valor por debajo de la atmosférica ya que entonces entraba aire en la retorta y se perjudicaba el proceso de producción de gas. Lo más aconsejable era conseguir que la presión en el barrilete fuese la atmosférica, de esta manera dentro de la retorta solo había la presión de los tubos montantes que no superaban los 30 mm de columna de agua (Schilling fill, 1895: 20).

Para evitar los inconvenientes de la presión y mantenerla bien regulada, era aconsejable poner extractores que aspirasen el gas. Éstos se podían poner tanto entre el barrilete y el condensador como entre este último y los purificadores. Tenían que estar diseñados en función de la cantidad de gas a aspirar y, para ajustarse a los cambios de presión, tenían que poderse regular.

En 1839 John Grafton fue el primero en pensar en un aparato que extrajese el gas. Se trataba de un contador-extractor que servía para medir la cantidad de gas extraída, pero que aspiraba gas si se movía en sentido inverso al que giraba cuando ejercía de contador. Posteriormente el ingeniero David Methven, de la fábrica de King's Cross de la *Imperial Gas-Works*, diseñó otro extractor que tenía poco rozamiento. El aparato se componía de un juego de tres campanas de chapa invertidas, cada una recubría su respectivo recipiente circular de fundición



Extractor de Methven (Clegg, 1860: 164).

que contenía agua. Estos recipientes estaban directamente conectados con el barrilete de donde aspiraban el gas.

Eran similares a pequeños gasómetros equilibrados a la presión a la que se quería mantener el gas. Si la presión cambiaba, el gasómetro subía o bajaba y su movimiento modificaba la velocidad de extracción. El extractor Methven fue el primero que se aplicó a la *Commercial Gas-Works*. Las tres campanas móviles aspiraban 1.698 m³ de gas por hora a una presión de 0,075 m. Los que se instalaron después en la *Imperial Gas-Works* tenían 1,05 m de diámetro y 0,45 de recorrido (Clegg 1860: 164).

En 1850 Antoine Pauwels (1796-1852)¹⁴ y Vincent Dubochet patentaron un extractor cuyo principio era similar al de Methven, pero tenía las

¹⁴ Pauwels era un autodidacta que se convirtió en industrial y fabricante de productos químicos y finalmente se lanzó a la industria del gas en donde hizo aportaciones muy destacables. En 1820 aplicó la iluminación de gas en el teatro de Luxembourg y posteriormente construyó la fábrica de la carretera de Fontainebleu cerca de París. Ha pasado a la historia por establecer este primer sistema de aspiración de gas (Payen, 1867: 11). Con Vincent Dubochet, Pauwels erigió la Compagnie Parisienne en 1836 y la fábrica de Ivry en la carretera de Choisy cerca de París (Marechal, 1894: 8) (Journal, 1931: 69-74).

3. El proceso de producción de gas de hulla

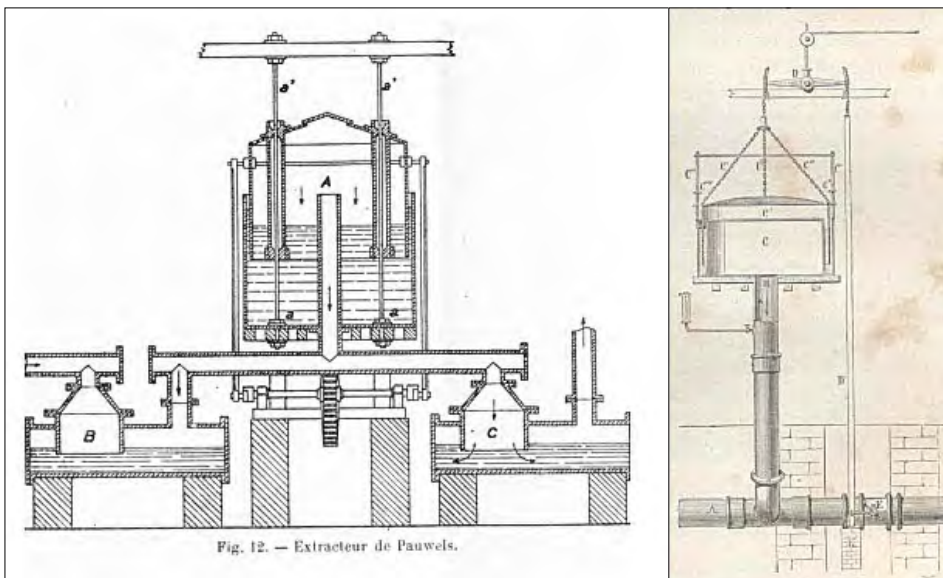
campanas mayores, de manera que su aspiración se hacía con un movimiento más lento de estas. Se trataba de unos aparatos muy regulares, ya que mantenían la aspiración sin casi oscilaciones.

Pauwels utilizó también tres campanas que subían y bajaban alternativamente gracias al movimiento rotativo de unas bielas movidas por una máquina de vapor. Cada campana estaba guiada por unos ejes que se desplazaban al interior de unos tubos abiertos por sus extremos. Cada campana cuando subía producía el vacío en el tubo A de manera que el nivel de agua en B disminuía permitiendo la entrada del gas en su interior. Por otro lado el agua subía en C de manera que se interrumpía la comunicación entre la aspiración y la depresión.

Inversamente, durante el movimiento de descenso, el gas contenido en la campana se

comprimía en el tubo A. El nivel del agua subía en B y se cerraba la comunicación con el barrilete. Mientras, C por efecto de la presión quedaba desprotegido y lanzaba el gas al conducto de depresión. Las campanas tenían unos 2,10 m de diámetro y la aspiración se realizaba con gran regularidad provocando solo unas oscilaciones muy pequeñas (Journal, 1931: 96).

Pauwels también ideó un regulador para este extractor que actuaba sobre la velocidad de la extracción y sobre la circulación del gas en el tubo de aspiración. Se componía de una campana elevada conectada al tubo de aspiración que se movía a lo largo de una guía y estaba conectada con un balancín. Un aumento de la presión en la campana tendía a subirla. Este movimiento accionaba el contrapeso en D que hacía girar la válvula, de manera que se permitía mayor



Extractor Pauwels y Dubochet (Journal, 1931: 100).
Regulador del extractor (Clegg, 860: 165).

acceso de gas por el tubo A. Cuando el vacío en la aspiración era demasiado grande, la campana bajaba y se cerraba la válvula reduciéndose la sección de paso del gas (Clegg, 1860: 165) (Journal, 1931: 96-97).

La variedad de extractores que se idearon desde entonces fue considerable. George Anderson creó uno que se parecía a un cilindro de una máquina de vapor y que a través de un movimiento alternativo de un pistón descargaba el gas. De éstos se instalaron dos en la fábrica "Great Central" de Bow-Common a finales de 1853 y dos más, a mediados de 1857 y alguno más en otras fábricas de la Gran Bretaña. J.T. Beale inventó otro extractor de tipo rotativo con un eje excéntrico. En la fundición de Lionel-street de Birmingham, George Jones ideó otro tipo, que se basaba en la rotación en sentidos opuestos de dos levas, las cuales atrapaban el gas. Este extractor se aplicó a la fábrica que en Brick-Lane tiene la Chartered Company. En Francia, William Hall diseñó un extractor compensador compuesto por dos campanas que se regulaba por un contrapeso que se deslizaba por un balancín. Alexander Wright también inventó otro tipo de extractor compensador que tenía semejanzas con el rotativo de Beale y con el de campanas de Hall (Clegg, 1860: 166-169).

Pocas fueron las empresas que creyeron útil instalar un extractor cuando la producción no superaba los 200.000 m³ y allí donde fueron instalados solo se mantuvieron poco tiempo. La calefacción de los hornos mediante gasógenos introducida en el último tercio del siglo XIX comportó que los extractores fueran sustituidos por unos inyectores de vapor Koerting o por ventiladores (Journal, 1927, 142-149).

3.2. La depuración física y la depuración química

El gas que salía de las retortas además de contener alquitrán, contenía amoníaco, ácido sulfhídrico, anhídrido carbónico, naftalina y sulfuro de carbono. Una parte del alquitrán y también del amoníaco quedaban retenidos en el barrilete pero el resto y las otras sustancias continuaban acompañando al gas. Un descenso de temperatura podía permitir la eliminación de una buena parte de estas sustancias ya que se condensaban. Por eso después del barrilete, el gas era conducido a un aparato refrigerador que se denominó condensador. De todas formas había que tener en cuenta que la condensación solo eliminaba una parte de estas sustancias, por ello se solía decir que una buena condensación era una purificación a medio hacer. No obstante, no podía bajarse la temperatura demasiado ya que entonces el gas perdía algunos de los hidrocarburos que le conferían el poder lumínico. Por eso se aconsejaba no bajar por debajo de 10°C (Darcel, 1878: 32-33).

3.2.1. El condensador

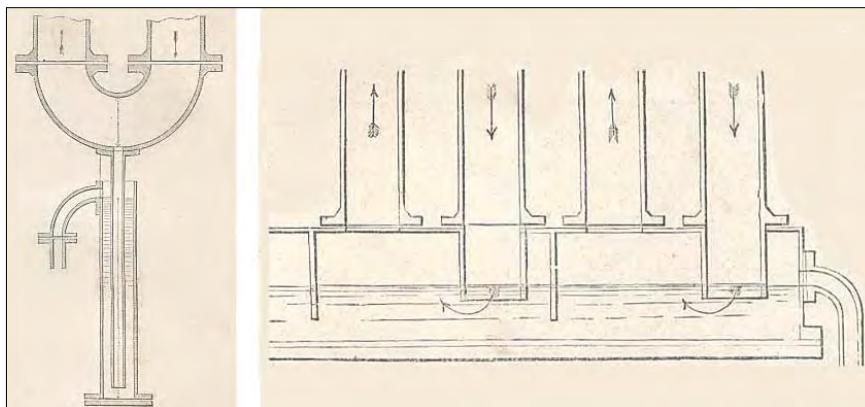
El tipo de condensador más utilizado consistía en una serie de tubos verticales cuyo número y longitud dependía de la cantidad de gas que se preveía que pasara. Su altura podía ser igual a la del muro del taller de destilación. La refrigeración se podía hacer mediante agua contenida en un recipiente situado en el edificio o simplemente por aire. Estos últimos recibían el nombre de condensadores atmosféricos. En algunos se hacía circular un hilillo de agua por encima de los tubos para facilitar el enfriamiento por evaporación de esta. La condensación producida por el agua aumentaba

3. El proceso de producción de gas de hulla

rápidamente con la temperatura mientras que con el aire era menor.

En la parte inferior de cada par de tubos se situaba un sifón que permitía la recogida de los condensados como indica la figura de la izquierda.

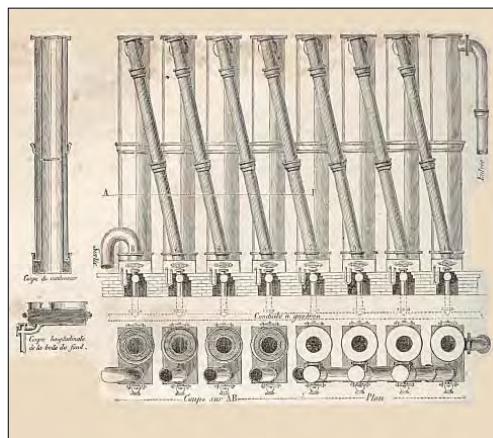
Cross se utilizaron este tipo de condensadores. Alexander Wright los mejoró haciendo que el gas circulara por el interior de los tubos concéntricos siempre en la misma dirección de manera que siempre circulara en la dirección opuesta a la corriente de aire interior (Clegg, 1860: 161).



Sistemas de recogida de condensados (Clegg, 1860: 159-160).

Había también una mejor forma de recogida de los condensados consistente en sumergir los tubos del condensador en un compartimento con agua de manera que el alquitrán y las aguas amoniacales recogidas se reunían en él y salían por un sifón.

Posteriormente se ideó un condensador provisto de tubos interiores abiertos por los dos lados de manera que conseguía aumentar la superficie de enfriamiento ya que el gas circulaba por el espacio anular que quedaba entre los tubos concéntricos. Por el tubo interior circulaba aire y en las épocas más cálidas un hilillo de agua por la parte externa. El gas circulaba en un tubo en sentido contrario al aire y en el siguiente en el mismo sentido. En la fábrica de King's

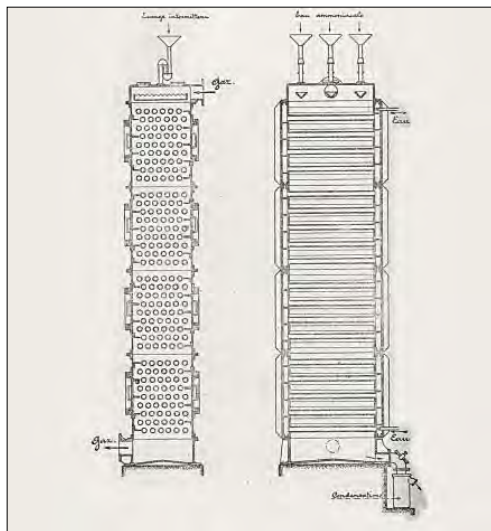


Condensador Wright (Clegg, 1860: 162).

La superficie del condensador variaba según el tipo de gas. No obstante, como orden de magnitud podemos afirmar que una superficie de 48 m² era suficiente para unos 100 m³ de gas y sin tener que regar los tubos con agua. Experiencias hechas con ocho condensadores contruidos por el sistema Wright probaban que el gas se enfriaba de hecho en las cuatro primeras columnas.

John Malam inventó un condensador horizontal que estaba compuesto por una caja rectangular de chapa provista interiormente de unos platos superpuestos que contenían agua. El gas, que entraba por el fondo, estaba obligado a atravesar los platos sucesivamente en los que iba dejando el alquitrán y las aguas amoniacales las cuales se recogían en un depósito conectado a la caja anterior mediante un sifón. Este condensador fue modificado más tarde por Robert Poulson Spice (1814-1889), quien eliminó los platos interiores, por la dificultad que presentaba cambiarles el agua, sustituyéndolos por unas cámaras planas de chapa comunicadas entre si mediante tubos. Los vapores de alquitrán y las aguas amoniacales se condensaban en estas cámaras debido a que se enfriaba por el contacto del gas con el agua. Se conseguía así un condensador económico y eficiente (Clegg, 1860: 162).

El condensador de haces tubulares horizontales fue uno de los más difundidos. Consistía en unas hileras de haces de tubos horizontales por cuyo interior circulaba el agua, mientras que el gas lo hacía en sentido inverso a través de ellos. La refrigeración era paulatina y contaba con la ayuda de un riego intermitente con amoníaco en los extremos de los tubos para evitar la condensación. La acción refrigerante de estos condensadores era muy enérgica



Condensador de tubos horizontales Reutter
(Grebel, 1924: 344).

En 1877, Monnier propuso realizar una condensación progresiva consistente en colocar una columna para el análisis del vapor tan caliente como fuese posible y que estando situada antes del condensador posibilitase la condensación en caliente y así obtener un gas con mayor poder lumínico (*Journal*, 1927, 142-149). La idea de la condensación en caliente se fue implantando a partir del principio establecido hacia 1881 según el cual el mejor proceso consistía en condensar en caliente la mayor parte de los alquitranes y evitar el contacto del gas con el alquitrán condensado excepto a altas temperaturas. Así, se solía elevar el alquitrán acuoso hasta 75° y se pulverizaba en contacto con el gas proveniente de los barriletes secos a una temperatura próxima a 170°. Sin embargo, algunos constructores como Klönne preconizaron la condensación ascendente en cilindros verticales muy altos

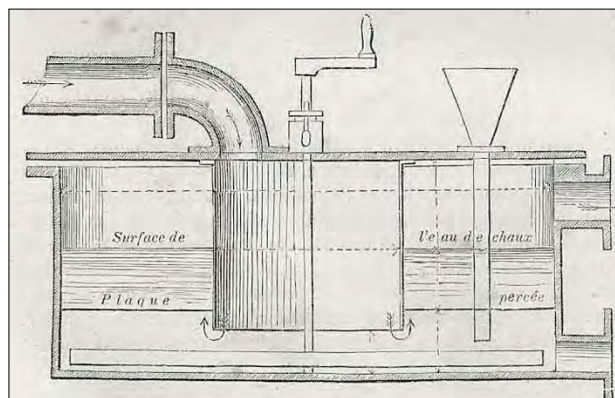
3. El proceso de producción de gas de hulla

donde los condensados del gas eran analizados y la temperatura del gas solo descendía de 60 a 35°C. H. Laurain defendió en 1911 la condensación brusca en frío aplicada a partir del barrilete con la que se pretendía reducir al mínimo el contenido de naftalina del gas. En ese momento ya no era tan importante que los gases perdiesen poder lumínico (Grebel, 1924: 329-340).

3.2.2. Los purificadores

El gas de alumbrado que llegó a las primeras fábricas en 1805 no estaba purificado. Es decir que las hilaturas de algodón de Phillips & Lee de Salford o la de Henry Lodge de Halifax recibían un gas que si se respiraba producía dolores de cabeza e irritaba los pulmones. Este inconveniente lo hacía inadecuado para ser quemado en lugares cerrados. Por ello, cuando Clegg se ocupó de la iluminación de la fábrica de Harris en Coventry se le ocurrió tirar cal en la cisterna del gasómetro e impedir que se precipitase instalando un agitador que pusiese el gas en movimiento. También fue Clegg quien añadió al sistema un condensador formado por una serie de tubos verticales, situados a lo largo del recorrido existente entre la retorta y el gasómetro, que se sumergían en la cisterna del gasómetro por debajo de la disolución de agua y cal. De esta manera el gas barboteaba y en parte se purificaba. Este sistema primitivo presentaba el problema de la renovación de la cal de la cisterna. Obstáculo que frenó su adopción. El gas no podía ser utilizado en habitaciones particulares hasta que estuviese perfectamente libre de sulfhídrico. De manera que, en 1808, cuando Clegg tuvo que iluminar el Colegio Católico de Stonyhurst en el Lancashire

aprovechó la experiencia de Coventry para introducir una mejora consistente en un nuevo aparato que contuviese agua con cal de manera que pudiese ser renovada con facilidad. Este aparato, representado en la figura siguiente, estaba situado antes del gasómetro y conducía el gas procedente del condensador a través de la disolución de agua y cal.



Depurador de cal inventado por Clegg
(Clegg, 1860: 18).

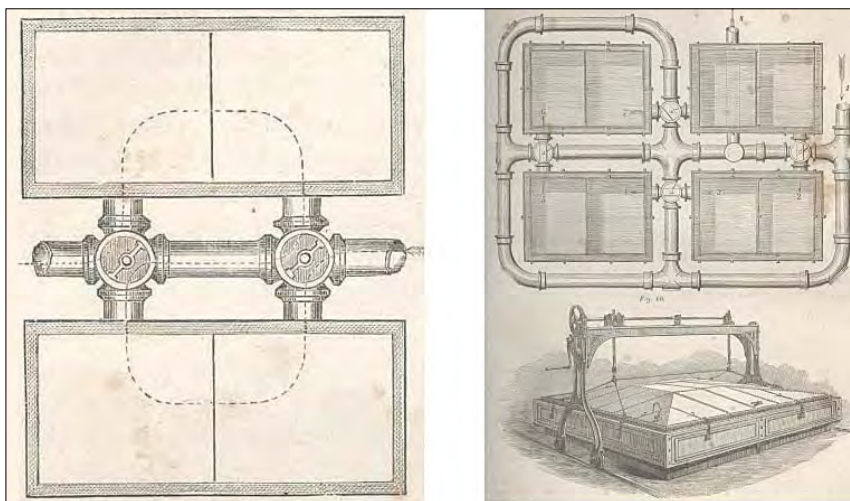
Cuando Clegg hubo completado este aparato invitó al prestigioso químico William Henry (1775-1836) de Manchester a visitar el Colegio y examinar el método ya que Henry había afirmado, después de realizar ciertos experimentos, que el sulfhídrico no podría ser eliminado del gas de hulla a gran escala utilizando la cal. Su opinión se basaba en la dificultad de poner en contacto íntimo el gas con la cal en una gran superficie, aunque había comprobado que a nivel de laboratorio la cal combinaba con el sulfhídrico liberando

hidrocarburos. Después de la visita, Henry reconoció la eficacia del aparato de Clegg y se felicitó por que este procedimiento de purificación se pudiese aplicar a gran escala. No obstante, cuando en 1808 Henry reclamó para sí la invención de este procedimiento, mediante una nota leída en la Royal Society, ni siquiera mencionó a Samuel Clegg ni a su aparato. Esta actitud decepcionó y molestó profundamente a Clegg que no por eso dejó de instalar aparatos de depuración como el anterior en la fábrica de Soho de Boulton & Watt y, posteriormente en 1812, en las hilaturas de algodón de Samuel Ashton & Brothers en Hyde cerca de Stockport (Clegg, 1860: 18-20).

Los purificadores de cal adquirieron dimensiones considerables principalmente en las grandes instalaciones ya que se requerían 1 m² de superficie de depurador por cada 47 m³ de gas por hora. En Francia se prefirió los depuradores

cilíndricos de diversas capas en lugar de los de forma cuadrada. George Anderson ideó un sistema de válvulas mediante el cual se podía hacer pasar el gas sucesivamente por un número determinado de depuradores, empezando por los más sucios y acabando por los más limpios, fuese cual fuese el orden en que se encontraran.

En la figura de la izquierda vemos dos depuradores dispuestos según el sistema ideado por Anderson. Se puede comprobar que el gas impuro entraba por el purificador inferior que suponemos más sucio y después pasaba al superior mediante un tubo intermedio y de ahí a la salida. Si se disponía de un sistema de cuatro depuradores como se ve en la figura de la derecha, alguno de ellos podía aislarse para poder renovar el material mientras que los otros tres funcionaban. El conjunto de válvulas permitía el paso del gas a voluntad desde los purificadores más sucios a los más limpios (Clegg, 1860: 183-186).



Dos depuradores y cuatro depuradores Anderson (Clegg, 1860: 184-185).

Samuel Clegg afirmaba sobre los depuradores de cal que el gran principio que tenía que presidir la construcción de un purificador de cal era dividir el gas tanto como fuese posible sin aumentar su presión. Este contacto íntimo entre el gas y la solución de cal se conseguía haciendo pasar el gas en pequeñas burbujas a través del líquido.

Aconsejaba equiparse como mínimo con un juego de dos depuradores para poder continuar la depuración mientras se limpiaba uno de los dos. La potencia de un depurador era proporcional a su capacidad y a la altura de agua que disponía o lo que es lo mismo la presión que oponía al gas. Por ello se sugería limitar esta altura a 20 cm. En estas condiciones con 248 litros de cal apagada mezclada con 765 litros de agua se podían depurar unos 1.000 m³ de gas (Clegg, 1860: 187). Hacia 1840 comenzó a utilizarse en Francia, Bélgica y la Gran Bretaña el sulfato de calcio hidratado que se encontraba en la naturaleza como mineral conocido con el nombre de aljez. Este producto en presencia de carbonato amónico se descomponía dando lugar a sulfato amónico y carbonato cálcico. Cuando no se podía encontrar aljez de manera natural se preparaba artificialmente con lechada de calcio y ácido sulfúrico. Los franceses lo obtenían utilizando los escombros procedentes de derribos. Los trituraban, les tiraban ácido sulfúrico y agua y a esta mezcla le añadían polvo de coque para fraccionarla. Este procedimiento se aplicó también en Inglaterra en la fábrica de Wax-Hall de Londres. La reacción de depuración era un poco más lenta y por eso se requería la instalación de diversas cubas sucesivas.

Después de la cal, también se ensayaron otros productos para la purificación, como los óxidos

metálicos, sulfatos y cloruros de manganeso, de cinc, de estaño y de antimonio pero su elevado precio los hacía inaplicables industrialmente.¹⁵ Además, estas sustancias eliminaban el sulfhídrico y el amoniaco restante pero dejaban intacto el anhídrido carbónico. Por lo que resultaba imprescindible hacer pasar el gas a través de la cal. La cal seca resultó ser el agente más poderoso, más económico y menos peligroso para eliminar las impurezas del gas ya que además de eliminar el sulfhídrico eliminaba el anhídrido carbónico. Si se mezclaba con agua la eficacia se reducía, pero continuaba siendo preferible a otros productos porque no eliminaba las propiedades lumínicas del gas. No obstante, a medida que la cal se agotaba quedaba un residuo compuesto mayoritariamente por carbonato cálcico, sulfuro cálcico y en menor cantidad por otras sustancias como el sulfhidrato amónico. Esta mezcla en contacto con el aire generaba un olor fétido. Esto sucedía porque mientras el sulfhidrato amónico se desprendía sin reaccionar, el sulfuro cálcico en cambio en presencia de anhídrido carbónico producía carbonato cálcico y desprendía abundante sulfhídrico. Para evitar eso se introdujo la purificación con óxido de hierro ya que este producto tenía una gran afinidad por el sulfhídrico dando lugar a sulfuro férrico que es inodoro.

Con anterioridad a que se usase el óxido de hierro, Alfred Paul Mallet hizo ensayos para utilizar una mezcla de sulfato y de óxido de plomo que era una mezcla que se revivificaba y podía ser utilizada indefinidamente. En la

¹⁵ Alfred Paul Mallet intentó en 1840 introducir el cloruro de manganeso para la depuración. Este producto se podía conseguir en cantidades suficientes ya que era un residuo de la fabricación del cloro. Otra disolución igualmente válida consistió en sulfato de hierro que fue aplicado en algunas fábricas de gas de Francia (Saint-Quentin), Bélgica (Brujas) o Austria (Graz), (Laboulaye: 1873).

fábrica de Versalles se aplicó este proceso durante algunos años y también en algunas instalaciones de la *Compagnie du Nord* que había por ejemplo en Dunkerque (Laboulaye, 1873: I, 1204).

Los primeros ensayos del óxido de hierro se inspiraron en los trabajos realizados con el sulfato de plomo ya que tuvieron como base la constatación de que el sulfato de hierro en contacto con el aire se convertía en óxido. Sin embargo, la primera patente sobre este particular se le otorgó a Phillips de Exeter en 1835. Alexander A. Croll perfeccionó el método unos años más tarde y lo patentó en 1840 añadiendo un procedimiento de revivificación de la sal metálica a la salida del depurador eliminando el azufre por calentamiento (Clegg, 1860: 180). Pero fue Richard Laming (1798-1879) en 1849 quien patentó un proceso de revivificación del hierro en contacto con el aire.

Richard Laming era un cirujano inglés que vivió en París y ejerció de ayudante de otro cirujano que como él se tornó en químico, Lewis Thompson.¹⁶ Laming regresó a Inglaterra a raíz de la revolución de febrero de 1848, poco después de que lo hiciera también Thompson, y se dedicó a la industria

del gas de carbón como propietario de la *Millwall Chemical Works*, empresa situada al Este de Londres y en la que fabricaba sales amoniacales y azul de Prusia a partir de subproductos del gas.

Mientras Laming residía en París trabajó en un proceso para eliminar el sulfhídrico del gas con una sustancia compuesta de sales de hierro, calcio y yeso. El sulfhídrico se oxidaba convirtiéndose en sulfuro el cual podía ser recuperado y vendido. El proceso no era nuevo pero no resultaba económicamente rentable. Laming profundizó en este método y observó que si dejaba la mezcla unas horas al aire libre, la sal de hierro se reconvertía a su estado original y podía volver a ser activa.¹⁷ Esta revivificación, que podía repetirse varias veces, convertía en rentable el proceso. Un poco antes de abandonar París, Laming lo patentó y, ya en Londres, lo aplicó a la fábrica de Westminster de la *Chartered Gas Company* (Farrar, 1969: 248).¹⁸

La mezcla de Laming utilizaba óxido de hierro y yeso y, para hacerla más porosa y permeable al gas y aumentar la superficie de contacto, se solía mezclar con virutas de madera. Este polvo ya utilizado en contacto

¹⁶ Richard Laming había nacido probablemente en Londres y era hermano de un comerciante de la City. Estudió en el Royal College of Surgeons en 1825 (Farrar: 1969, 246).

¹⁷ El sulfato de hierro y de cal en presencia del aire se transformaba en sulfato cálcico y trióxido de hierro y en contacto con el sulfhídrico y el amoníaco del gas, se convertía en sulfuro de hierro, sulfato amónico y carbonato cálcico.

¹⁸ La patente de Laming está datada el 22 de febrero de 1849 y durante agosto de ese año realizó los experimentos en la fábrica de Westminster. Los supervisó el superintendente F. L. Evans quien se percató del cambio de color rápido de la mezcla de negro a rojo. Evans patentó este hallazgo pero Laming pudo probar la prioridad de su descubrimiento ya que lo había patentado en París. Sin embargo la patente inglesa llevó el nombre de los dos descubridores. Un poco antes en la misma fábrica de Westminster, F.C.Hill consiguió otra patente sobre la purificación del gas la cual fue la primera otorgada en Inglaterra. En el proceso de prioridad que se siguió en 1858 ganó Hill pero la victoria moral se la llevó Laming ya que su nombre se ha mantenido para designar la mezcla de sales de hierro, yeso y virutas (Farrar: 1969, 251).

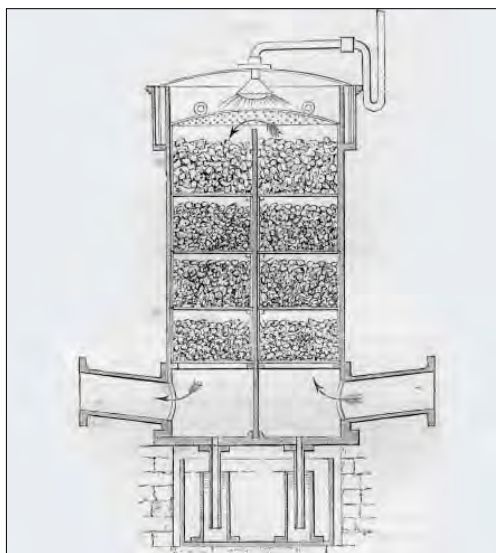
con el aire empezaba a revivificarse ya que el azufre abandonaba el sulfuro de hierro y este se oxidaba por acción del oxígeno. En Berlín se depuraban 6.200 m³ de gas con 100 kg de hierro natural revivificado hasta siete veces (Shelling: 1868: 76).

Para preparar el polvo de Laming sólo hacía falta extender la cal y una cantidad apropiada de agua. A continuación se extendían las virutas de madera y se añadía el sulfato de hierro y agua en igual cantidad. Posteriormente, se removía la mezcla y se dejaba expuesta al aire durante 24 horas. A partir de ese momento adquiría un color oscuro indicativo de que ya estaba a punto para ser utilizada. El inconveniente del polvo de Laming era que reducía un poco el poder lumínico del gas pero en cambio presentaba ventajas técnicas y económicas considerables ya que su uso era cómodo, se podía utilizar

mucho tiempo y dada su porosidad casi no incrementaba la presión del gas (Schilling: 1868: 79).

3.2.3. Las columnas de coque o scrubbers

El gas que salía del depurador aún contenía algo de amoníaco por eso, antes de enviarlo al gasómetro, se le hacía pasar por una columna de coque o scrubber. No obstante, algunos ingenieros no estaban de acuerdo en utilizarla dado que en el proceso se eliminaban algunos hidrocarburos y el gas perdía poder lumínico. En otros casos, en lugar de situarlo después del depurador se colocaba antes y entonces en él se depositaban también vapores de alquitrán que aún arrastraba el gas.



Scrubber (Clegg, 1860: 188).

El gas entraba por la parte inferior y ascendía por la columna atravesando cada una de las capas de coque dispuestas sobre unas cribas. Mientras, por la parte superior descendía una corriente de agua en forma de finas gotas que mantenía todo el conjunto húmedo y arrastraba el amoníaco dada su afinidad por el agua. Esta agua amoniacal se recogía en la parte inferior de la columna de coque y también los vapores de alquitrán que pudiese haber. Si además se quería eliminar la naftalina contenida en el gas, entonces la corriente no podía ser de agua sino de nafta y en lugar de coque resultaba preferible utilizar piedras ya que la nafta y el coque formaban una pasta que rápidamente obstruía el paso del gas.

Cuando el gas salía del condensador ya limpio de alquitrán, las columnas se solían colocar después del purificador, pero si aún contenía restos de este producto, entonces era preferible colocarlas antes. Sin embargo, la mejor disposición consistía en situar una columna de coque seca o mojada con agua entre el condensador y los purificadores y una segunda columna regada con agua acidulada después del purificador.

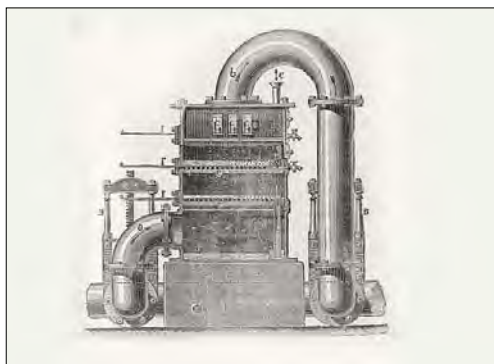
En 1846, George Lowe patentó una columna que estaba dividida en dos compartimentos alimentados cada uno por un líquido depurador diferente y que estaban recorridos por la misma corriente de gas. Ambos estaban llenos de coque, pero mientras que el compartimento inferior estaba recorrido por agua ligeramente amoniacal, el de arriba lo estaba con agua acidulada. Con ello se conseguía hacer pasar el agua amoniacal diversas veces hasta que se saturara y así tuviese valor comercial. (Clegg, 1860: 188-190).

Si se deseaba realizar un lavado en profundidad había que disponer de tres scrubbers en serie,

de manera que la tercera columna recibiera el agua pura que era recogida por la parte inferior y pasaba a la segunda y de ahí a la primera. El agua recogida al final contenía en disolución mucho más amoníaco.

Los scrubbers o columnas de coque que hemos visto hasta aquí eran lavadores estáticos. Dado que la actividad de enfriamiento del condensador tenía también como finalidad limpiar el gas, se diseñaron algunos aparatos que, al tiempo que condensaban, ejercían las funciones de un scrubber. Se trataba de los lavadores condensadores y de los condensadores de choque.

Un ejemplo de lavador condensador fue el diseñado por Chevalet que disponía de un mecanismo más eficaz para retener el alquitrán. Para ello el gas era laminado a través de unas placas metálicas situadas horizontalmente en las que se habían practicado muchísimos agujeros de 1 a 3 mm de diámetro. El gas burbujeara a través de las capas de agua que se depositaban sobre estas planchas, mientras que el líquido no podía atravesarlas por la acción del gas. En este burbujeo, el gas se desprendía del alquitrán y del amoníaco que quedaba en el agua.

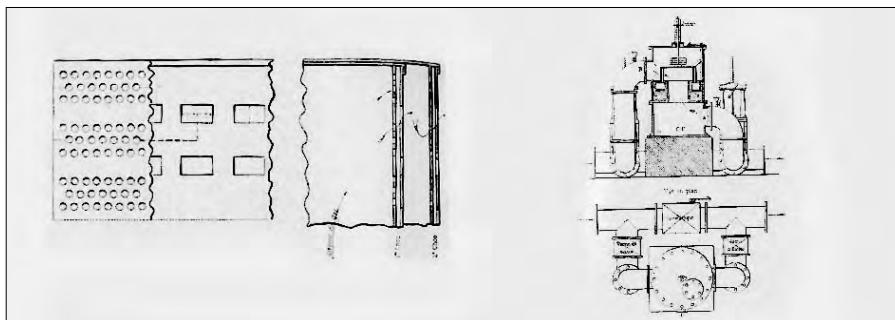


Lavador-condensador Chevalet (Grebel, 1924: 345).

3. El proceso de producción de gas de hulla

Los condensadores de choque se basaban en el hecho de que si una corriente de gas, que arrastra partículas, es agitada hasta una determinada velocidad y después se lanza sobre un obstáculo, el gas se desvía mientras que las partículas quedan enganchadas en el obstáculo y después se unen en pequeñas gotas que descenden hacia abajo.

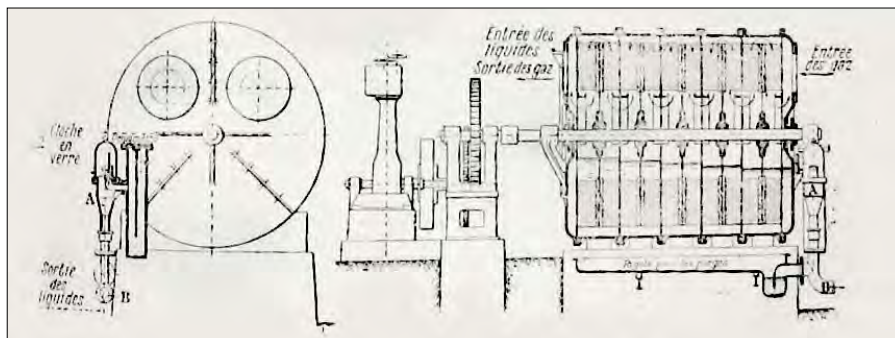
tricas dispuestas en dos parejas. Cada pareja se componía de dos jaulas de chapa separadas de 1,5 a 2 mm y agujereadas con un cierto número de agujeros. Estos orificios estaban dispuestos de tal manera que la parte llena de una placa correspondía a la parte agujereada de la otra. El gas se laminaba a través de los pequeños



Condensador Pelouze-Audouin. Detalle del cilindro y esquema general (Grebel, 1924: 346-347).

Pelouze y Audouin diseñaron un condensador basado en este principio que se conoció como condensador de choque. Su funcionamiento era automático. Se forzaba el gas a pasar en una doble campana cuyas paredes laterales estaban formadas por cuatro placas perforadas concén-

agujeros redondos de la primera, mientras que la segunda jaula actuaba de obstáculo y retenía el alquitrán y las aguas amoniacales. Estos residuos descendían a lo largo de la campana para caer en su parte inferior y ser evacuados mediante un sifón (Grebel; 1924: 346-347).



Lavador rotativo modelo Holmes (Grebel, 1924: 359)

Hubo otro tipo de lavadores llamados rotativos de eje horizontal de los que son un buen ejemplo los de Kirkham y de Holmes. Estos se componían de un cilindro horizontal de fundición compartimentado por diafragmas verticales en cuyo interior giraban unas ruedas. El gas penetraba en cada cámara por el orificio axial del diafragma anterior, atravesaba la rueda acariciando su superficie de contacto y pasaba a la cámara siguiente por el orificio axial del diafragma que separa las dos cámaras. Las ruedas del lavador Kirkham se componían de dos discos entre los que se fijaban los elementos

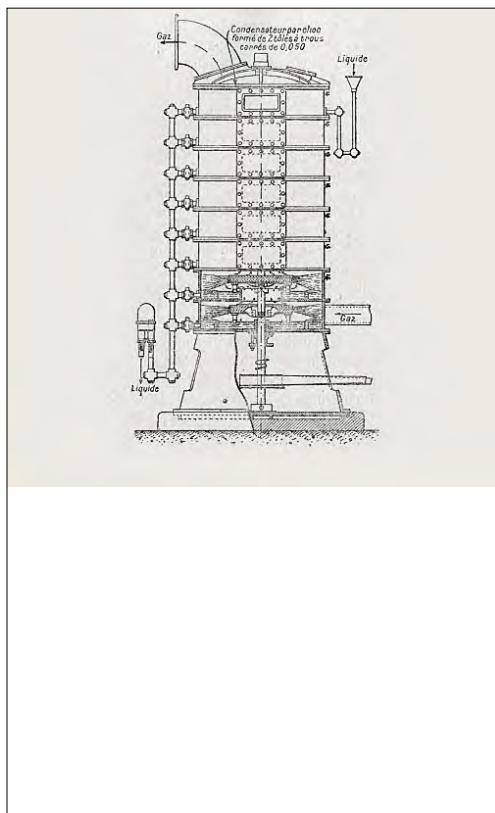
de relleno, principalmente lamas de madera. El gas circula del centro hacia la periferia en corriente muy dividida entre las lamas.

Las ruedas del lavador Holmes, muy utilizado en Alemania, se componía de un disco a cada lado del cual se disponían unas escobillas cuyas fibras frotaban los diafragmas al vibrar ligeramente. El gas atravesaba primero del centro hacia la periferia y las escobillas que estaban fijadas en la cara anterior del disco actuaban de la periferia hacia el centro, mientras que las escobillas de la otra cara lo hacían en sentido inverso.

Otro ejemplo de lavador centrífugo es el de Feld que se caracterizaba porque además de girar alrededor de su eje vertical a una velocidad de 100 a 150 rpm llevaba unos paneles perforados que permitían pulverizar el agua de las cámaras interiores con unas gotas finísimas. El gas subía por la parte inferior de panel en panel y se veía obligado a atravesar las capas de líquido pulverizado que descendía de arriba a abajo (Grebel, 1924: 362).

3.3. Los hornos

Un elemento básico en el proceso de la producción del gas era el horno que indirectamente hemos presentado al hablar de las retortas. Sin embargo, dada su importancia, bien merece que le dediquemos una mayor atención. Si el primer horno tuvo una sola retorta, pronto se fue incrementando el número hasta llegar a cinco. Los hornos de cinco retortas estuvieron en funcionamiento durante bastantes años y a finales del siglo XIX eran aún los más usados. No obstante había ya hornos de siete, nueve y hasta de trece retortas. Los hornos de muchas retortas se solían poner en los lugares en los que se quería economizar terreno.



Lavador centrífugo Feld (Grebel, 1924: 362).

3. El proceso de producción de gas de hulla

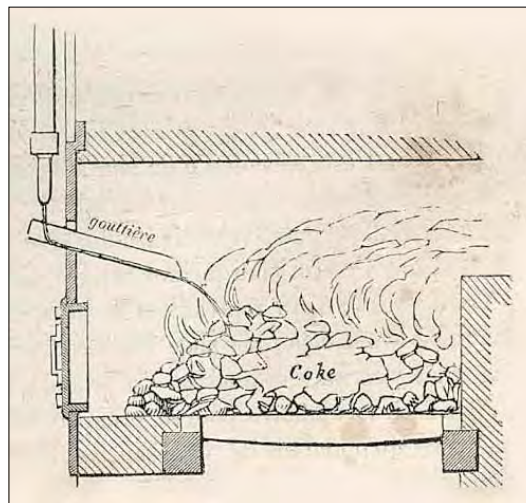
El combustible utilizado era o bien hulla o el coque producido, aunque también se utilizó el alquitrán y posteriormente el mismo gas. Estos últimos se les conoció como hornos de recuperación u hornos Siemens. Los hornos de coque tenían la ventaja de sacar el combustible de su mismo proceso de producción y requerir menos mano de obra, cosas que reducían el precio final del gas. Donde se utilizó el alquitrán hubo que modificar el hogar dado que el mayor calor producido por este otro combustible lo destruía. Sin embargo el valor que fue adquiriendo el alquitrán, sobre todo desde que se utilizó para obtener gasolina, lo apartó de este uso. Finalmente se implantaron los hornos de recuperación que aprovechaban el mismo gas para la combustión (Maréchal, 1894: 24).

3.3.1. El horno de Anderson con hogar de alquitrán

Estos hornos se aplicaron en el momento en que el mercado se saturó de alquitrán y bajó tanto de precio que era preferible quemarlo que venderlo. La combustión del alquitrán requería una disposición especial del hogar para producir gas sin deteriorar las retortas ni generar mucho humo.

George Anderson patentó un hogar especial para quemar alquitrán consistente en un plano inclinado de ladrillo que terminaba a poca distancia de la solera del hogar. El alquitrán entraba por un canal situado en la parte superior del plano inclinado, resbalaba por él y poco a poco se iba volatilizando de manera que sólo quedaban unas cenizas cuando llegaba al extremo de ese plano. Las cenizas se recogían a través de una abertura en un depósito de cenizas que se mantenía al rojo. El aire se introducía por una abertura practicada en ese depósito, atravesaba las brasas al rojo y se mezclaba con los productos

de la combustión en el momento de abandonar el hogar y pasar por debajo de las retortas. Este aire era precisamente el responsable de que la combustión del alquitrán se realizase de manera perfecta sin la menor producción de humos.



Hogar de combustión de coque y alquitrán
(Clegg, 1860: 115).

Normalmente, la cantidad de alquitrán producida no bastaba para calentar la batería de retortas y por ello era habitual combinar este sistema con algún horno calentado simplemente con coque. De esta manera en los meses de verano, que era el momento en el que el coque era más barato, se utilizaba este horno y se acumulaba el alquitrán obtenido, cosa que permitía compensar la falta de alquitrán del resto de meses del año (Clegg, 1860: 140).

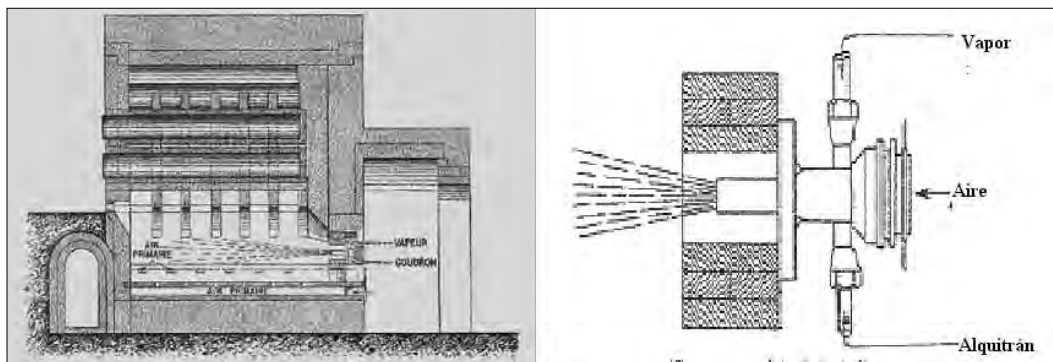
Otro dispositivo utilizado consistió en utilizar un inyector de vapor o de aire comprimido para asegurar que el alquitrán, que se encontraba en estado fluido y almacenado en el fondo del horno, se pulverizase y se mezclase

íntimamente con el aire. Así los productos de la combustión envolvían las retortas elevándolas a la temperatura de destilación. En el dibujo siguiente se representa un croquis de un horno calentado con alquitrán y un esquema del inyector. Este dispositivo disponía de tres entradas respectivamente para el vapor, el alquitrán y el aire comprimido (Masse, 1921:104).

fábrica construida en 1885 conocida como La Constancia se utilizaron inyectores de vapor para destilar un carbón de procedencia inglesa que proporcionaba un alquitrán también muy espeso (Journal, 1910: 72-73) (Alayo, 2000).

3.3.2. Los hornos de recuperación

Los hornos de recuperación estaban provistos de un generador o gasógeno que permitía



Esquema de un horno de alquitrán equipado con un inyector. A la derecha, esquema del inyector (Masse, 1921: 104).

En la fábrica de gas de Madrid durante la primera década del siglo XX se utilizaba alquitrán para el calentamiento de los hornos. Se trataba de un alquitrán muy espeso que no tenía salidas comerciales ya que en aquel momento las refinerías españolas solamente lo utilizaban para producir asfalto y para recuperar la naftalina, cosa que obligaba a la fábrica de gas a buscar maneras de deshacerse de él. El dispositivo de la fábrica de Madrid era primitivo y consistía básicamente en dejar resbalar el alquitrán sobre el coque incandescente. En cambio, en Vilafranca del Penedés, en la nueva

obtener gas combustible que se inflamaba debajo de las retortas. El gasógeno a partir de coque producía monóxido de carbono que se utilizaba para la combustión. Para ello se le conducía bajo las retortas donde quemaba produciendo un calor suficiente para efectuar la destilación de la hulla. Este gas de combustión necesitaba ser mezclado con aire para efectuar una buena combustión. En estos hornos se tenía especial cuidado de introducir este aire previamente calentado para así aumentar la temperatura de combustión. Este proceso se realizaba recuperando el calor de los gases de

combustión. De ahí el nombre de hornos de recuperación. Estos hornos presentaban dos ventajas desde el punto de vista económico: el ahorro de combustible y la incorporación de una o dos retortas más. El incremento de coste que implicaba la incorporación de más retortas se compensaba sobradamente con el ahorro de coque que se valoraba en 50 kg por cada tonelada de hulla destilada (Marechal, 1894: 24-27).

La idea de calentar un horno con gas se tuvo en Wasseraufingen (Alemania) en donde se utilizaba el gas procedente de los altos hornos que habitualmente se perdía. Allí había cuatro hornos de una sola retorta cada uno. En las fraguas también se produjo un primer intento de recuperar el gas producido y esto inspiró a los hermanos Friedrich y Williams Siemens a ensayar en 1862 en la fábrica de Westminster de la *London Chartered Gas Company* un horno de este tipo conocido como horno Siemens. Por la misma época se instaló uno similar a la fábrica de Vaugirard en París y un poco más tarde (1869) en Saint Mandé.¹⁹

La principal característica de los hornos Siemens consistían en que el gas de combustión y el aire entraban en el hogar fuertemente calentados. Este calentamiento tenía lugar a través de un espacio de mampostería de ladrillos refractarios llamado recuperador. Este aparato actuaba como un intercambiador que recuperaba el elevado calor de los gases de salida de la combustión, a los que se les reducía unos 100° su temperatura, haciéndolos cruzar con los gases entrantes y el aire (Shelling, 1879: 294-295).

El recuperador Siemens era bastante complicado, sobretudo por su sistema de dobles cámaras y por eso se buscaron maneras de simplificarlo. Una de ellas la llevaron a cabo Ponsard y Lencauchez que renunciaron a calentar el gas de combustión y solamente recuperaron el calor de la combustión para calentar el aire. Para conseguir eso, situaron el generador de gas lo más cerca posible del horno para que el gas entrase en el horno casi a la misma temperatura en que se producía. El aire se calentaba en un recuperador construido con ladrillo refractario aprovechando el humo de la combustión.

Posteriormente E. Müller, propietario de una fábrica de cerámica en Ivry y el ingeniero Eichelbrenner, que había construido la fábrica de gas de Montreuil-sous-Bois, pusieron en marcha otra simplificación más. Dejaron de lado el recuperador y calentaron el aire conduciéndolo por unos conductos establecidos en la mampostería del lado del hogar. Era una disposición simple y barata que interesó a los alemanes porque transformaba el horno Siemens haciéndolo más accesible a las empresas pequeñas y medianas (Shelling, 1879: 302).

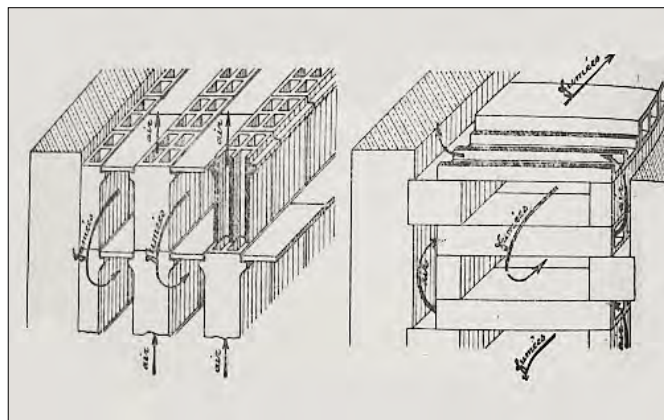
La recuperación podía ser simple si solo actuaba sobre el aire secundario, es decir, el aire necesario para la combustión de los gases procedentes del gasógeno, o doble si actuaba además sobre el aire primario o aire utilizado en la producción del gas del gasógeno. Normalmente los hornos de gas disponían de recuperación simple porque la recuperación del

¹⁹ Marechal sostiene que el primer horno de recuperación se instaló en 1862 en la fábrica parisina de Vaugirard. (Marechal, 1894:27) Schilling atribuye los primeros intentos a los alemanes aunque la instalación del primer horno de recuperación la sitúa primero en Londres en 1862 y después en París en 1864 (Shelling, 1879: 295).

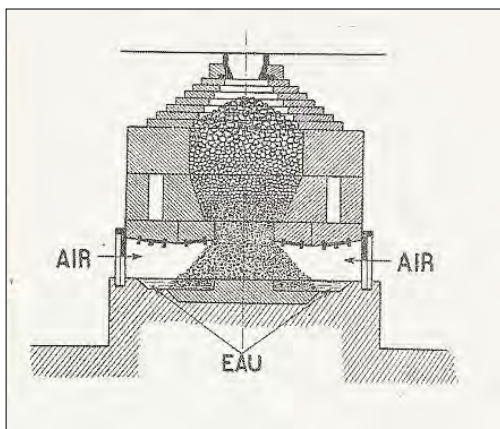
calor con el aire primario comportaba mayores gastos de establecimiento y de mantenimiento. Por eso si no había recuperación sobre el aire primario, el gasógeno funcionaba en caliente y esto afectaba a las parrillas, a las paredes refractarias y a los conductos del horno. Un primer paso fue suprimir las parrillas y aumentar la inyección de vapor de agua sobre el gasógeno para enfriarlo (Grebel, 1924:187). Por eso algunos gasógenos se diseñaron sin parrilla y estuvieron constituidos por dos cubas de mampostería de sección cuadrada o circular. El combustible reposaba sobre el fondo en donde había dos aberturas opuestas que permitían la eliminación de la escoria. Se llamaron gasógenos Didier y se difundieron ampliamente en Alemania (Masse, 1921: 91).

En los recuperadores de calor, los humos de la combustión, debido a que se enfriaban, tenían que circular de arriba a abajo porque eran más densos, mientras que el aire que se calentaba tenía que circular de abajo a

arriba porque era más ligero. Por ello en los recuperadores a los humos se les hizo seguir un recorrido horizontal por pisos mientras que el aire recorría tramos verticales perpendiculares a los anteriores, como se puede ver en las imágenes de las disposiciones de los ladrillos que formaban los recuperadores bien estuviesen dispuestos de manera vertical u horizontal.



Disposiciones horizontal o vertical de los materiales refractarios que constituyen el recuperador (Grebel, 1924:188).



Gasógeno tipo Didier (Masse, 1921: 91).

Para aumentar el rendimiento de los recuperadores de calor se idearon los regeneradores. Estos dispositivos estaban compuestos por cámaras simétricas rellenas de apilamientos de material refractario dispuestos de manera que se establecían conductos aislados de circulación para el aire y los gases. Además de actuar como intercambiadores, los regeneradores ejercían de acumuladores de calor con lo que podían ser la mitad de pequeños que los recuperadores.

Un recuperador era en definitiva un intercambiador de calor formado por tubos de hierro o conductos de cerámica donde los humos calientes circulan por el interior y el aire frío por fuera a contracorriente o bien al revés, el aire por dentro y los humos por fuera. Los regeneradores, en cambio, eran cámaras simétricas donde los humos a enfriar o el aire a calentar pasaban alternativamente. Solían estar llenos de ladrillos refractarios que retenían el calor y cuya disposición daba lugar a diferentes modelos. Así había regeneradores discontinuos formados por parejas de pilas de ladrillos que se calentaban alternativamente por contacto con los humos y cedían después el calor al aire y regeneradores continuos con ladrillos cerámicos cruzados donde el aire se calentaba a expensas de los humos. Estos últimos bien podían ser considerados como recuperadores. Por eso esta distinción terminológica entre regeneradores y recuperadores tan clara entre los ingleses no estaba tan delimitada en las otras lenguas y en algunas ocasiones se solían confundir (Damour: 1912: 315-356).

Un ejemplo de recuperador fue el que patentó Pablo Yvern Ballester en 1911, que aplicó a las fábricas de gas de Valls y posteriormente a las de Cartagena, Alicante y Dénia.

Pablo Yvern y Ballester (1879-1950?) era Ingeniero Industrial especialidad química por la Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona. Durante el verano de 1901 viajó a Inglaterra para colaborar como aprendiz de Mr. Wilson en la fábrica de gas de Bow-Comon de la empresa *Gas Light & Coke* de Londres y para asistir a unas clases de ingeniería en South Kensington. Al año



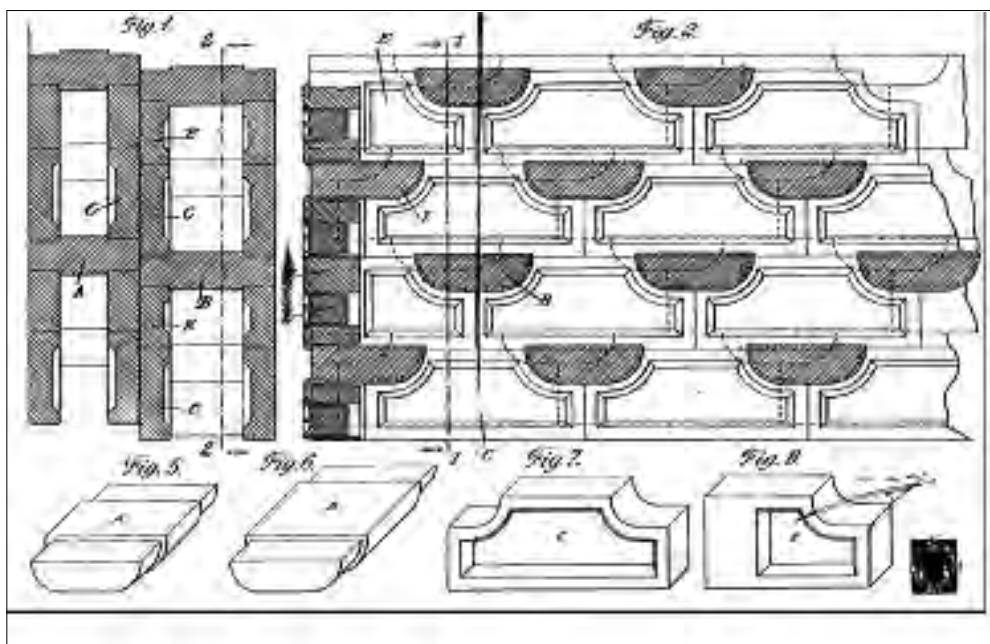
Pablo Yvern y Ballester (Ribé, 1995:37).

siguiente se trasladó de nuevo a Inglaterra para trabajar como ingeniero en la *Gibbons Juniors* y la *Gibbons Bros ltd*, dos empresas del sector gasista, la primera dedicada a productos refractarios y la segunda a la ingeniería y la construcción de hornos.

La patente que obtuvo se refería a la forma de construir los recuperadores de calor que tenían que estar formados por dos conductos (aire-gas) o tres conductos (gas-aire-gas) contiguos e independientes para evitar que la diferente dilatación les produjese grietas. Para cada conducto proponía el empleo de unas piezas refractarias situadas en el interior, de manera que se pudiese colocar tabiques para dar lugar a una circulación en zigzag

renovar la fábrica entera incorporando la nueva tecnología a través de alguna de sus variantes.

En ese sentido, la fábrica de Dresden puso en práctica un horno conocido con el nombre de Hasse-Didier que tenía el gasógeno fuera del horno en el cual se calentaba el aire primario gracias a sus dobles paredes donde se ubicaban unos conductos de circulación. De esta manera se recuperaba el calor perdido por conducción.

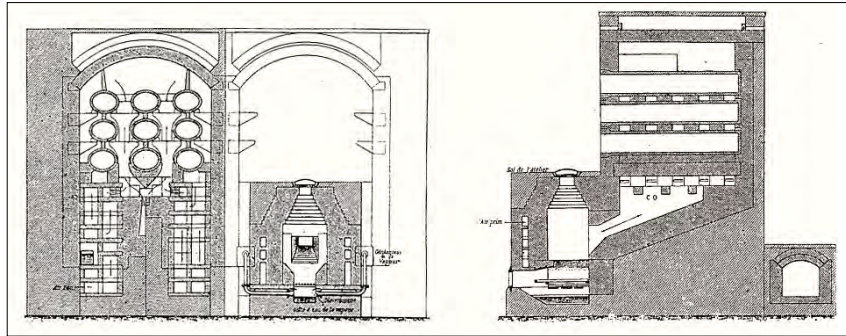


Plano de las piezas cerámicas del recuperador Yvern
(Archivo Registro General de Patentes).

La incorporación de gasógenos con recuperador para calentar las retortas se llevó a cabo de dos maneras. La más simple consistió en aprovechar la renovación periódica de las retortas en un horno de fuego directo para modificar el hogar convirtiéndolo en un gasógeno. Este fue el caso del horno Parsy. En otros casos se optó por

El gas producido circulaba a través del recuperador en sentido vertical mientras que el aire secundario lo hacía desplazándose a través de él en un sentido horizontal por cada una de las series de cinco aberturas practicadas. La duración de estos hornos era de unos 30 a 35 meses. (Bancelin-Magnier, 1899: II, 203-238).

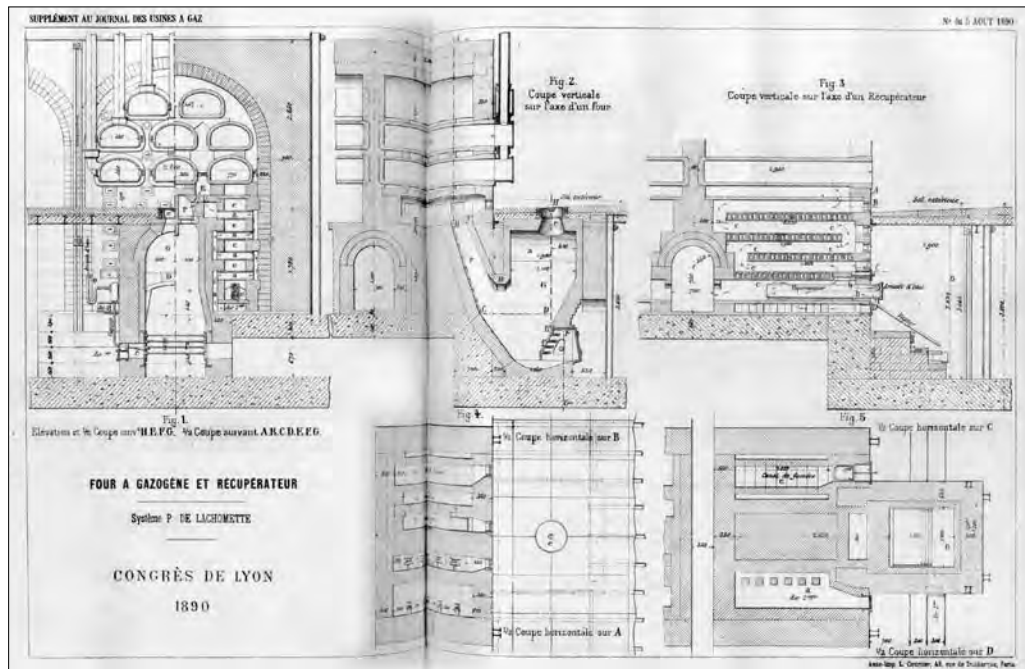
3. El proceso de producción de gas de hulla



Horno Hesse-Didier (Bancelin-Magnier, 1899:I, 227-228).

Otro ejemplo destacado de hornos de gasógeno con recuperación fue el de tipo Lachomette, el cual disponía de un gasógeno compuesto por una cuba de material refractario en la que se introducía el combustible. Los gases de la combustión,

antes de salir por la chimenea, entraban en un recuperador donde seguían un recorrido por unos conductos de ladrillos entrecruzados de manera especial y calentaban el aire que circulaba por los otros conductos en sentido inverso.



Esquema del horno Lachomette (Journal, 1890: 238).

Además, los hornos Lachomette disponían de un vaporizador que introducía vapor de agua, producido en unas pequeñas calderas, dentro del gasógeno para asegurar primero que no se produjesen escorias y después que se enfriara el gasógeno. También se enriquecían los gases debido a que al inyectar vapor se aumentaba la cantidad de hidrógeno y de monóxido de carbono.

Este horno resultaba muy ventajoso principalmente por su simplicidad y por la facilidad de limpieza y mantenimiento. No producía humos ni comportaba cenizas lo que permitía una mayor conservación de los materiales refractarios (Journal: 1890: 236-237). En 1890 se construyeron 30 hornos de este modelo para la fábrica Perrache de León y posteriormente unos 20 más para la fábrica del Arenal en Barcelona.

3.4. Perfeccionamientos en el proceso de producción del gas

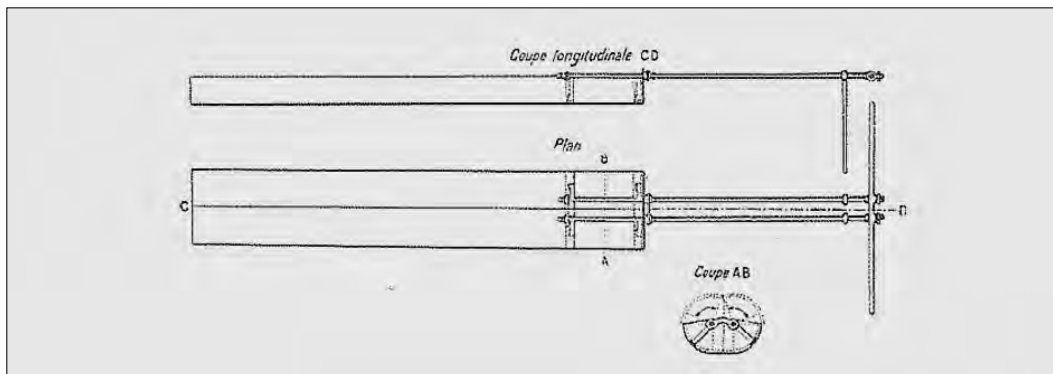
Los cambios que se fueron introduciendo en el proceso de fabricación de hulla desde finales del siglo XIX hasta la Segunda Guerra Mundial giraron alrededor de la carga y descarga de las retortas. Estas dos fases del proceso presentaban el inconveniente de requerir la contratación de bastantes obreros para realizar un trabajo extremadamente duro. Por lo que se buscaron formas de facilitar este trabajo mecanizándolo y a la vez reducir el número de trabajadores.

3.4.1. La mecanización de la carga y descarga

Las retortas horizontales fueron las únicas utilizadas desde el principio en la industria del gas y las que tuvieron mayor implantación. Las fábricas pequeñas tenían suficiente con retortas simples cerradas por un lado, pero en las grandes fábricas se utilizaron retortas abiertas por ambos extremos que se construían uniendo dos retortas a las que se les había eliminado el fondo, consiguiéndose así unas retortas dobles mejor adaptadas a la carga y descarga.

En las fábricas pequeñas la manutención era manual pero en las mayores se fue introduciendo la manutención mecánica. Téngase en cuenta que el cargamento de la retorta con pala era un trabajo muy dificultoso y por ello se fue introduciendo en las fábricas pequeñas un instrumento llamado cuchara articulada de Laurain que consistía en un semicilindro de chapa de la misma longitud que la retorta. Esta cuchara estaba formada por dos cuartos de cilindro unidos por su generatriz que se llenaban de carbón, se introducía en la retorta y después cada cuarto rotaba en sentido inverso provocando la caída regular del carbón. Para facilitar la manutención de la cuchara se instalaba un puente rodante a lo largo de la fachada del horno (Masse, 1926: 170).

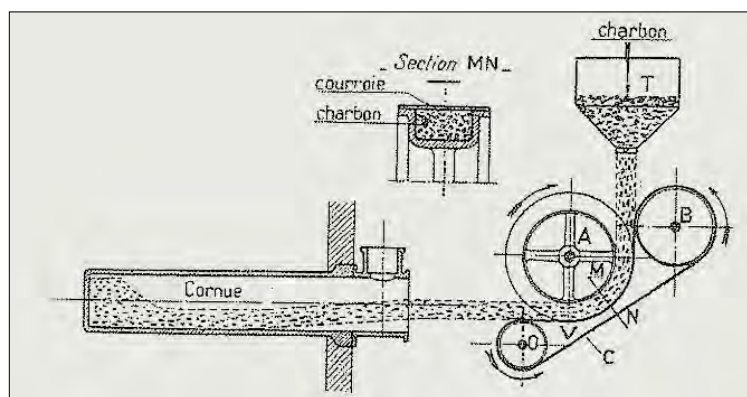
3. El proceso de producción de gas de hulla



Pala articulada Laurain (Masse, 1926: 170).

La descarga de la retorta también comportó mejoras. Inicialmente en las fábricas pequeñas esta se efectuaba manualmente utilizando un gancho, pero para facilitar esta operación se introdujeron algunas máquinas consistentes en diversas variantes de un rascador o rastrillo articulado que se introducía hasta el fondo de la retorta y giraba procediendo al arrastre de la galleta de coque.

Uno de los aparatos más extendidos para la carga de las retortas horizontales fue el de Brouwer que estaba formado por dos correas sin fin de cuero enrolladas en dos tambores. El carbón se introducía por la tolva y caía en la correa, la cual le imprimía una velocidad suficientemente alta como para impulsar el carbón hacia el fondo de la retorta (Masse, 1926: 173).



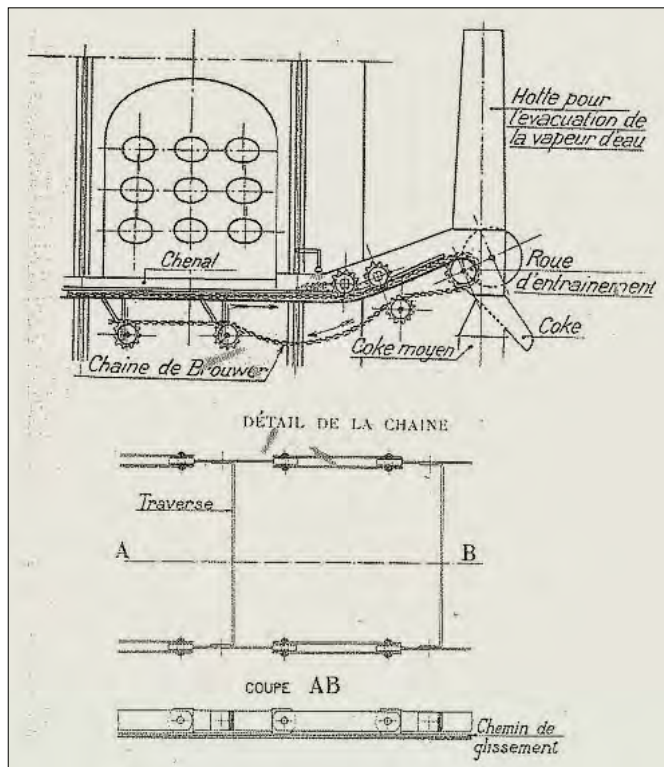
Máquina de carga Brouwer (Masse, 1926: 173).

Para que el proceso se realizase correctamente hacía falta que el carbón estuviese troceado en pedazos no mayores que un puño. El manejo de la máquina de carga Brouwer facilitaba considerablemente las operaciones al tiempo que reducía el número de operarios. Así una misma máquina podía ser maniobrada por un solo obrero y si ésta se situaba sobre un puente rodante podía desplazarse a lo largo de toda la batería de hornos.

También se utilizaba para la descarga un aparato Brouwer que es conocido como “el río” ya que utilizaba una corriente de agua para extraer y enfriar el coque. A la salida de las retortas el coque caía en el agua, se apagaba y se extraía fuera del horno hasta una parrilla inclinada por donde se recogía el agua y este se enviaba a unas vagonetetas. La operación se hacía muy rápidamente ya que no convenía que el coque se impregnase de humedad.

3.4.2. Los hornos de retortas inclinadas y verticales

Con el objeto de simplificar las operaciones de carga y descarga y a la vez reducir la mano de obra. André Coze propuso en 1885 utilizar retortas inclinadas. Éstas estaban dispuestas de manera que la hulla iba cayendo en caída libre desde la parte superior. La inclinación tenía que ser suficiente (entre 29,5 y 33°) para que después de la destilación, la galleta de coque descendiese y pudiese ser evacuada por su propio peso. Estas retortas tenían una longitud que podía ir desde los 3,5 m a los 6,10 m. La sección recta de la retorta era ligeramente ensanchada para facilitar el vaciado del residuo de coque.



Extractor Brouwer (Masse, 1926: 219).

Los hornos de retortas inclinadas presentaban, no obstante, el inconveniente de requerir un mayor consumo de coque de calefacción debido a que se perdía mucho calor por radiación (Masse, 1926 : 179).

El horno Coze tuvo poca implantación en Francia en cambio se difundió por otros países. Así por ejemplo, en 1890 se pusieron en servicio por primera vez en España 6 hornos de retortas inclinadas de este tipo en la fábrica de la Barceloneta. De esta manera la producción se incrementó desde los 8 millones de m³ de gas de 1881 hasta los 21 millones de 1900. Posteriormente, en 1904 se mecanizó el arrastre del coque con un extractor Brouwer (Falguera, 53).

3. El proceso de producción de gas de hulla

La figura anterior representa una batería de 9 retortas inclinadas de 4,7 m de longitud con un sistema simple de manutención del carbón y del coque (Masse, 1926: 181).

tenía muy poca naftalina y cianógeno a pesar de contener bastante alquitrán y amoníaco. En tercer lugar, esta disposición vertical facilitaba la introducción al final de la destilación de

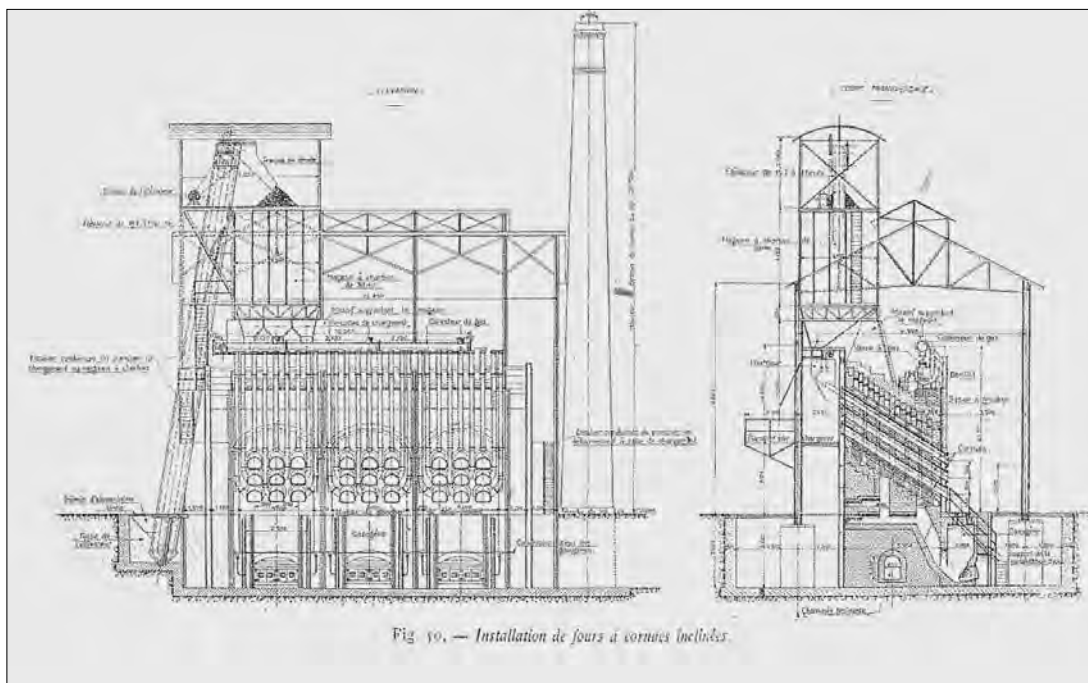


Fig. 59. — Installation de fours à cornues inclinées.

Instalación de hornos de retortas inclinadas (Masse, 1926: 181).

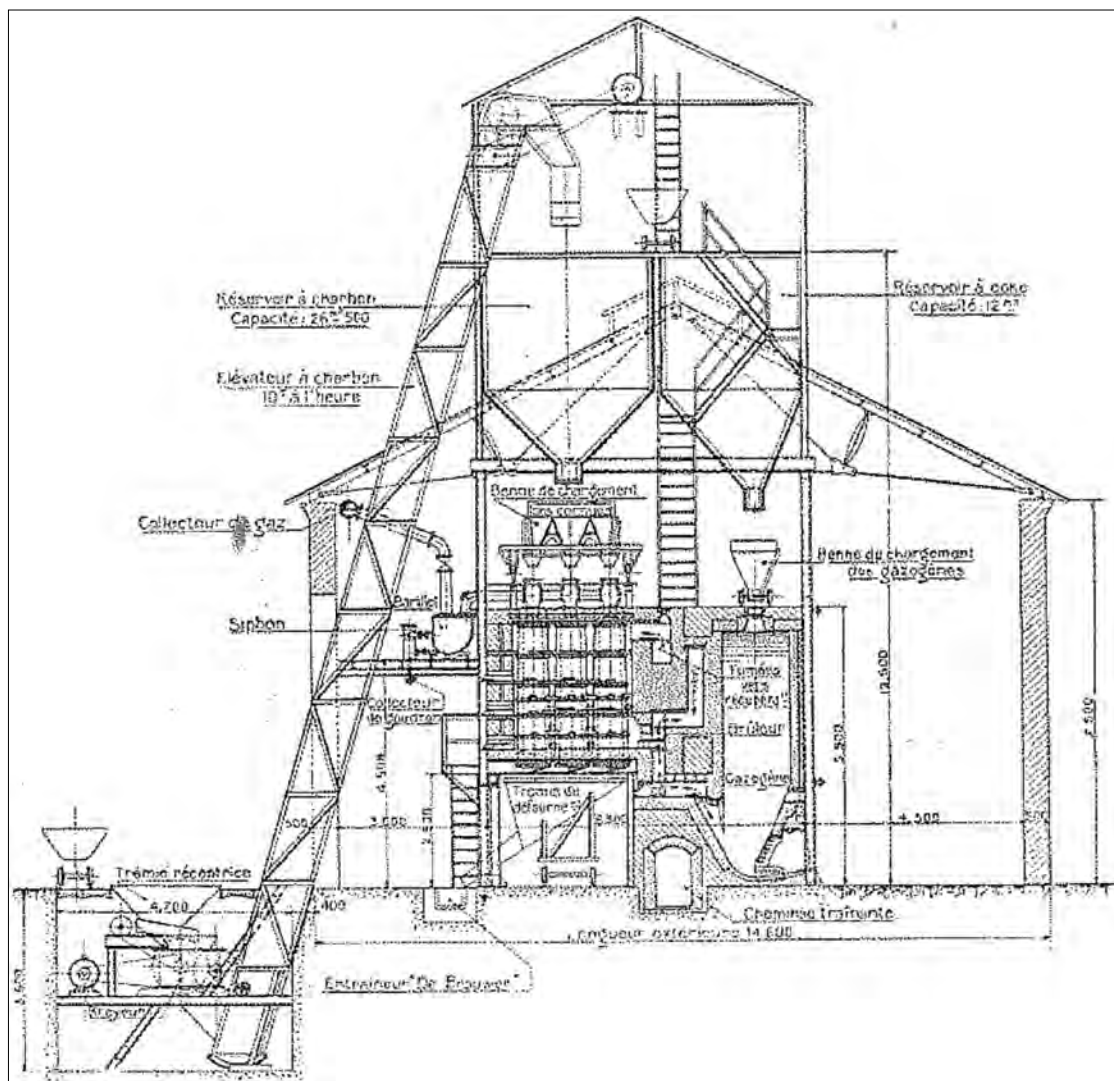
Los hornos de retortas inclinadas duraron muy poco y se fueron sustituyendo rápidamente por otros de retortas verticales. Este tipo de horno fue puesto en práctica por primera vez en la fábrica de Dessau en Alemania. Presentaba tres grandes ventajas. En primer lugar era de fácil manutención y economizaba mano de obra. El carbón se cargaba sin dificultad por la parte superior de la retorta y la galleta de coque se evacuaba por la parte inferior por su propio peso, simplemente con abrir una compuerta. La segunda ventaja era que el gas obtenido

una cierta cantidad de vapor produciéndose gas de agua.

En la figura siguiente se puede ver un horno vertical que incorpora un gasógeno al lado, de igual altura que las retortas, que genera combustible gaseoso para calentarlas. Este gas penetra por debajo de la cámara de combustión y sube a lo largo de las retortas por un recorrido sinuoso para aprovechar su calor. Las retortas están dispuestas en hileras de 2 ó 3 y la carga se realiza simultáneamente con un carro de

triple tolva que se desplaza por la parte superior del horno. El vaciado de las retortas se realiza a la vez para todas la que están en el mismo nivel. La duración de la destilación es de unas 10 a 12 horas.

La producción de gas empieza a disminuirse al cabo de unas 8 ó 9 horas entonces es cuando se produce el gas de agua insuflando vapor a la base de la retorta (Masse, 1926: 183).



Hornos de retortas verticales de destilación (Masse, 1926: 183).

En Barcelona se siguió también este proceso y, durante una reforma que tuvo lugar en 1905 en la fábrica de la Barceloneta, se construyó una nave de 15 hornos de 150 retortas verticales con carga y descarga mecanizada. El sistema de destilación era discontinuo o de marcha húmeda con inyección de vapor saturado después de las primeras 10 horas de destilación seca. Esto se conseguía gracias a unos hornos de retortas verticales sistema Didier cuya calefacción se obtenía con unos gasógenos individuales adosados y con un recuperador de calor (Memoria, 1934: 4).

3.4.3. Los hornos de retortas verticales con destilación continua

En la fábrica de gas de Marsella se ensayaron por primera vez unas retortas verticales en las que la destilación del carbón se obtenía de manera continuada. No obstante, fue en Inglaterra donde este procedimiento se consagró definitivamente. En el periodo de entreguerras estaban implantados dos modelos diferentes: el Woodall-Duckham y el Glover-West, en un gran número de fábricas tanto en Inglaterra como en Alemania.

En líneas generales, el proceso consistía en que el carbón se introducía por la parte superior de la retorta de forma continua y descendía, a una velocidad aproximada de 0,03 m/s, a lo largo de la misma hasta convertirse en coque que se extraía por la parte inferior también de manera continua. Sin embargo, algunos carbones se hinchaban considerablemente durante el proceso, cosa que lo ralentiza pudiendo incluso pararlo. Si sucedía esto había que intervenir desatascándolo de manera manual. Para que esto no sucediera se aconsejaba cuidar mucho la calidad de la hulla a carbonizar.

Las retortas verticales se prestaban a que se inyectase vapor de agua para facilitar la evacuación de las materias volátiles y para producir, además, un poco de gas de agua.

3.4.4. El horno Woodall-Duckham

Este tipo de horno se componía habitualmente de 4 retortas verticales formadas por piezas de material refractario unidas entre sí de manera que constituían una especie de cámaras más estrechas de arriba y que se ensanchan hacia abajo con una inclinación no constante que resultaba más acusada en la parte superior. La altura oscilaba entre los 7 u 8 metros mientras que la sección pequeña solía estar entre 0,15 y 0,28 m² y la grande entre 0,60 y 0,95 m².

Los hornos Woodall-Duckham llevaban incorporado un gasógeno y unos recuperadores de calor del aire secundario contruidos con materiales cerámicos. En la mayoría de los modelos, el gas del gasógeno era conducido a la parte superior del horno donde se quemaba en contacto con el aire secundario caliente proveniente del recuperador. Las llamas circulan de arriba a abajo por unos conductos verticales de calentamiento situados a lo largo de las paredes de la retorta. A continuación, el humo de la combustión subía a la parte superior del horno, descendía a través del recuperador y se evacuaba por la chimenea.

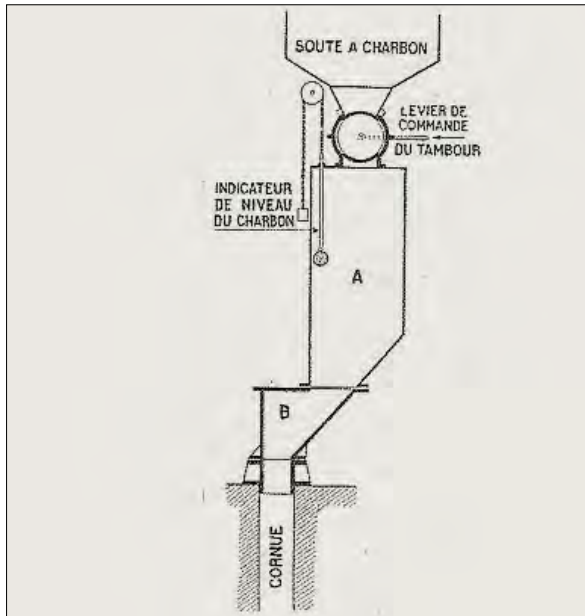
La parte superior de las retortas contenía el conjunto de tubos de salida del gas que conectaban directamente con el barrilete, habitualmente común a las cuatro retortas y una serie de aparatos utilizados para su carga. Estos comprendían un depósito principal que permitía el acceso libre a la retorta para las operaciones de vigilancia y uno de auxiliar

que garantizaba la alimentación de la retorta unas dos horas. El descenso del carbón se podía controlar con un indicador de nivel (Masse, 1926: 189)

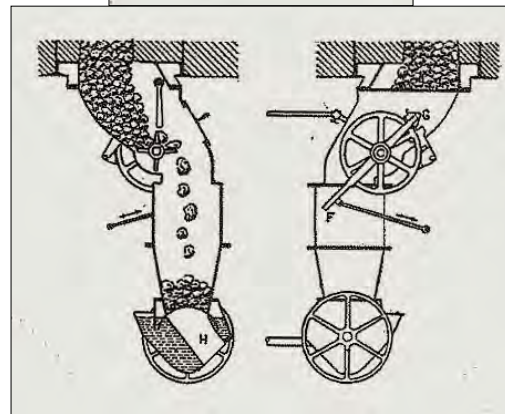
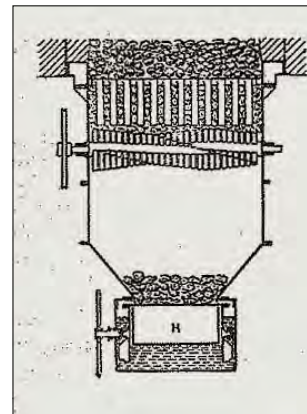
La extracción del coque resultaba especialmente importante ya que su correcto funcionamiento servía de regulación del movimiento de descenso del material de destilación. Por eso se prestó mucha atención en su diseño. El extractor constaba de un tambor provisto de cuatro hélices dentadas desfasadas 90° unas respecto a las otras de manera que su rotación provoca la extracción progresiva de los trozos de coque. Disponía también de una cortina de placas metálicas que servía para ejercer una resistencia suficiente sobre el coque y asegurar, así, una evacuación lenta y al mismo

tiempo proporcionar una flexibilidad apropiada para dejar pasar los pedazos grandes de coque.

Debajo de la caja de extracción se encontraba una tolva de fusión con capacidad similar al coque producido en tres horas. Sin embargo, la evacuación definitiva se realizaba por la obertura manual de una compuerta cada dos horas. Este coque se recogía en unas vagonetas o en unos cubiletes de un transportador longitudinal según fuese la manutención de la fábrica.



Aparato de carga de un horno Woodall-Duckham (Masse, 1926: 189).

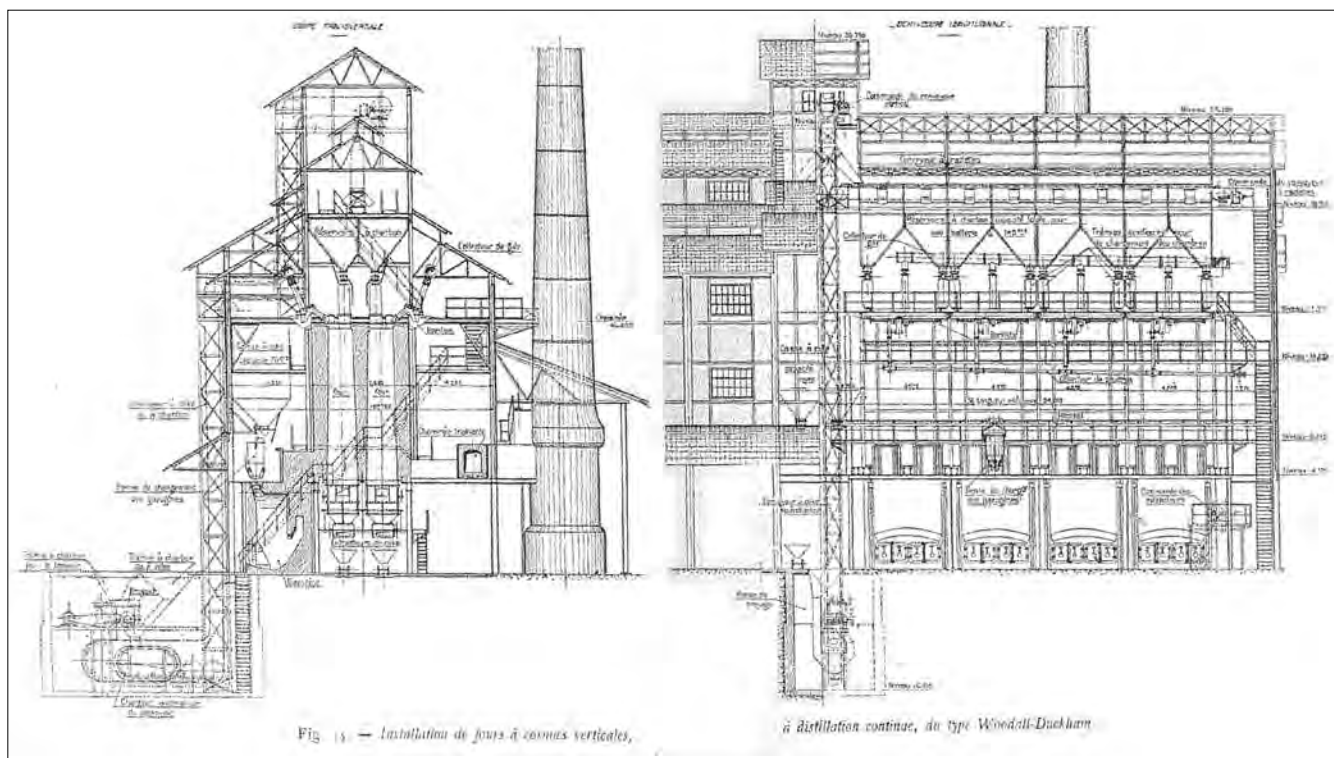


Extracción de coque en hornos Woodall-Duckham (Masse, 1926: 191).

3. El proceso de producción de gas de hulla

La figura de abajo muestra un horno de tipo Woodall-Duckham como los construidos en Francia por la *Compagnie Générale de Construction de Tours* o los catorce que se construyeron para la fábrica de Valencia de la Compañía Española de Electricidad y Gas Lebon.

redondeados. Eran algo más estrechas de arriba y se ensanchaban hacia abajo de forma que presentaban una sección de 0,21 m² en la parte superior y una de 0,46 m² en la parte inferior.



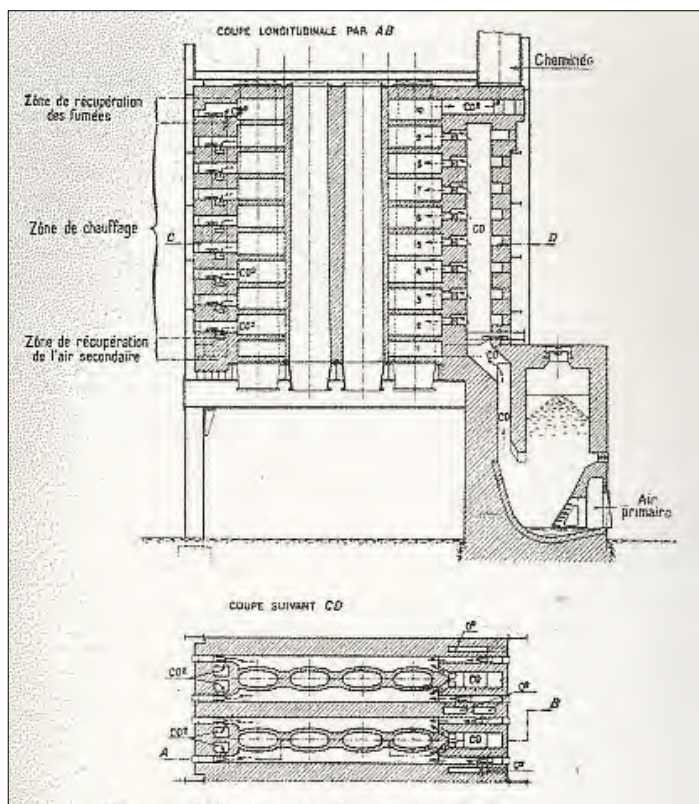
Hornos Woodall-Duckham (Masse, 1926: 191).

3.4.5. El horno Glover-West

Este otro modelo de horno de destilación continua solía tener 8 retortas de unos 6 m de alto construidas de piezas refractarias ensambladas, que presentaban sección rectangular con ángulos

La principal característica de este horno consistía en que las retortas no estaban calentadas en toda su altura. Para entender su funcionamiento había que saber que las retortas atravesaban una zona de 10 conductos horizontales situados uno encima del otro como se puede ver en la figura siguiente. El conducto de abajo era de

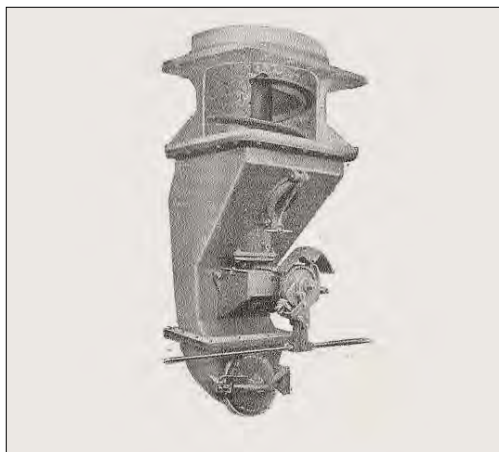
recuperación, ya que estaba recorrido por el gas secundario que se calentaba con el calor del coque al ser éste enfriado un poco antes de la extracción. Los ocho conductos siguientes servían para la combustión y conducían el gas del gasógeno, el cual generaba la combustión al encontrarse con el aire secundario recalentado. Cada conducto de combustión podía regularse aisladamente mediante tres registros, el primero, situado en la llegada del gas del gasógeno, el segundo, en el aire secundario y el tercero, en la salida de humos.



Esquema del horno Glover-West (Masse, 1926: 195).

El conducto superior y último era el que recogía el humo de la combustión. De él se recuperaba su calor ya que se utilizaba para calentar el carbón que entraba en la retorta. Finalmente, cuando estaba frío, era lanzado al aire exterior (Masse, 1926: 195).

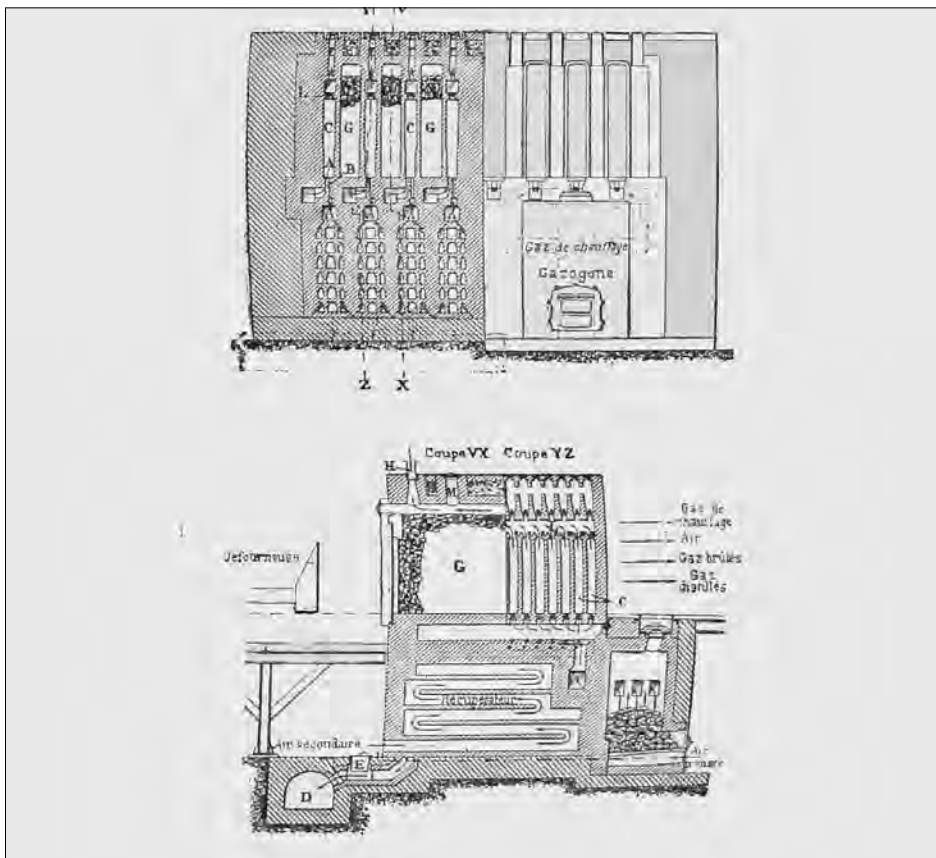
La salida del gas se efectuaba por la parte superior mediante un sistema de tubos análogo al del horno Woodall-Duckham y era conducido a un barrilete situado entre las dos hileras de retorta sobre las tolvas intermedias de carga. La carga de las retortas se operaba



Evacuador de coque de horno Glover-West (Masse, 1926: 196).

también de manera similar a los hornos antes descritos mediante un depósito intermedio que contenía una carga suficiente para garantizar la alimentación unas dos horas.

La extracción y evacuación del coque se efectuaba en la base de las retortas donde se fijaba una especie de cabeza cilíndrica, como la que se ve en la figura anterior, en la que había un elemento transportador helicoidal



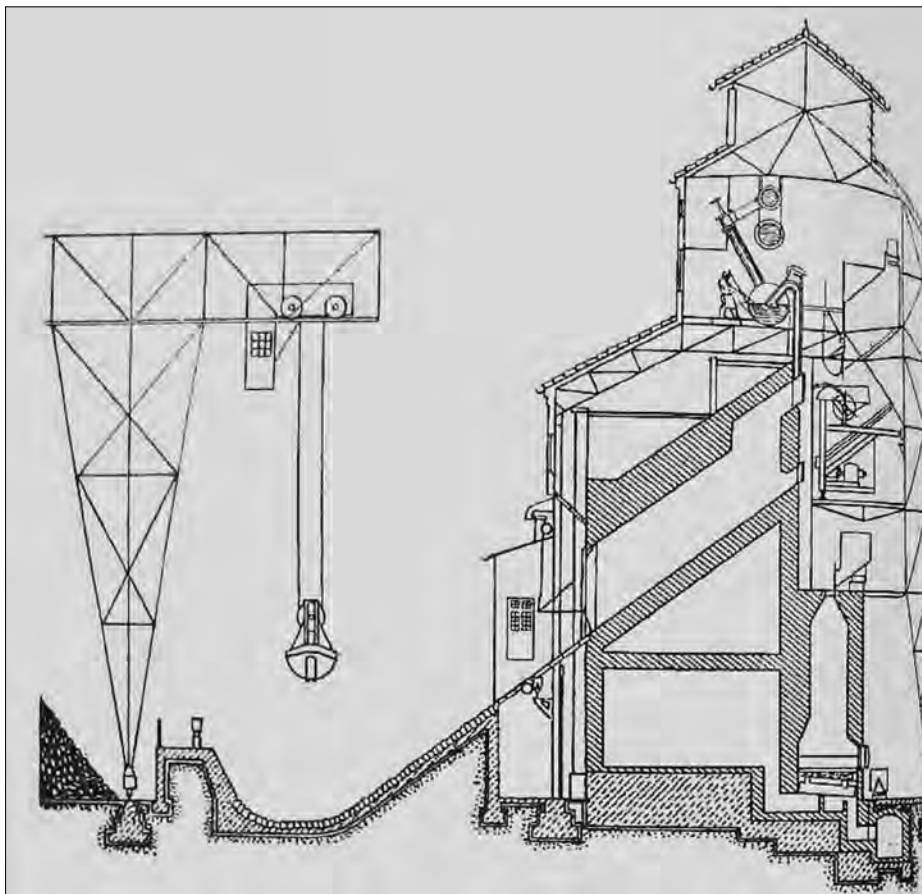
Horno de cámaras horizontales (Grebel, 1924: 231).

que soportaba la carga del coque y regulaba su descenso hacia una tolva almacén conectada directamente a esta cabeza cilíndrica. En el extremo inferior había una compuerta que facilita la caída del coque en una vagoneta de evacuación.

En la fábrica de gas de Reus se inauguraron en 1935 dos hornos de retortas Glover-West en servicio como los de la figura anterior.

3.4.6. Los hornos de cámaras

Las grandes instalaciones gasistas tuvieron que incrementar la carga y prolongar la duración de la destilación para hacerlas más rentables. Esto se llevó a cabo gracias a la sustitución de las retortas por cámaras de destilación cuyo volumen se incrementaba considerablemente. El principio de funcionamiento de estas



Horno de cámaras inclinadas (Grebel, 1924: 228).

cámaras consistía en calentar por las dos caras una galleta de carbón larga y plana de cuyo espesor dependía la duración de la destilación.

Las cámaras, formadas por recipientes de forma paralelepípedica de 0,50 m de anchura y entre 1,80 a 2,80 de longitud, se podían disponer tanto de manera horizontal como inclinada. Entre ellas se situaban unos quemadores, formados por dos placas refrac-

tarias ensambladas, que calentaban las dos paredes a la vez mediante el gas que se producía en el gasógeno situado debajo de las cámaras. Este gas de combustión circulaba por los quemadores verticales, primero subiendo y después bajando para recuperar todo su calor.

La carga del carbón se efectuaba por unos orificios situados en la parte superior de la cámara donde se repartía mecánicamente de

3. El proceso de producción de gas de hulla

manera uniforme. La descarga se llevaba a cabo de forma similar a como se realizaba en las retortas horizontales con un dispositivo que rompía y arrastraba la galleta fuera de la cámara.

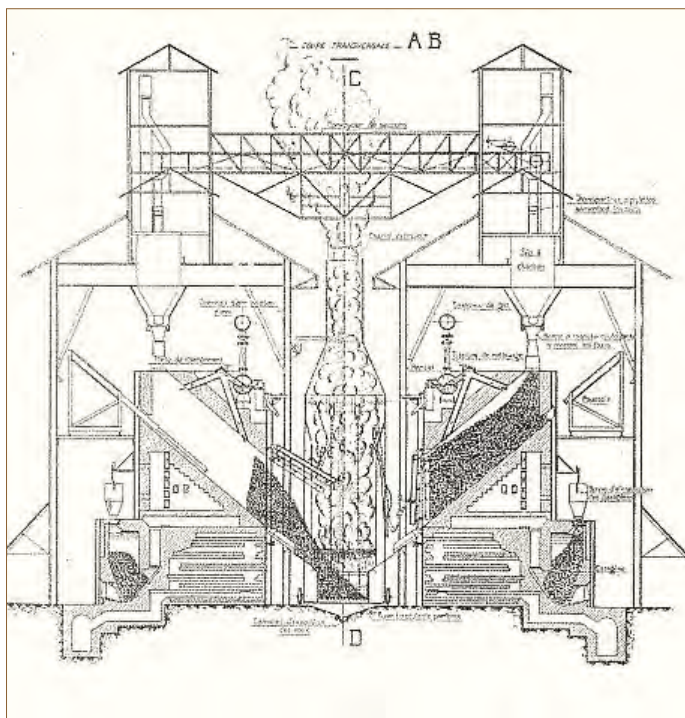
No había en Francia demasiados ejemplos de este tipo de hornos. Sin embargo, en Bruselas en una fábrica en Forest se construyeron unos hornos de este tipo a principios de la década de 1920.

En esta línea de hornos de cámaras, y siguiendo los pasos de lo que había hecho Coze con los hornos de retortas horizontales para simplificar los procesos de carga y descarga, en Alemania tuvieron la idea de disponer las cámaras de forma oblicua. Así surgieron los hornos de cámaras inclinadas que tuvieron una buena implantación principalmente en las grandes fábricas de las ciudades más importantes de Europa consiguiéndose mejores resultados en cuanto a la destilación y a la reducción de la mano de obra.

Estos hornos contenían unas tres cámaras de forma paralelepípeda alargada de 5,4 X 3,5 X 0,4 metros, cada una de las cuales podía contener unas 6 toneladas de carbón que se introducía por unas aberturas situadas en la parte superior. Al lado había otras dos aberturas para permitir la salida del gas. El carbón llegaba a las tolvas situadas encima de la cámara por un tipo de elevadores y transportadores horizontales. De allí, por gravedad descendía por la cámara aprovechando su oblicuidad. Ésta tenía que ser la apropiada para facilitar un reparto del combustible a lo largo de toda su capacidad.

En la parte posterior había una compuerta de deshornamiento articulada y estanca protegida por unas piezas refractarias para evitar que la deteriorase el coque incandescente. Para la descarga se utilizaban carros extintores

constituidos por una torre metálica que se desplazaba sobre ruedas delante del horno. Al salir de la cámara el coque caía en una cuba móvil del carro y allí se procedía a la extinción por inmersión o por riego. El proceso consistía en recibir el coque y sumergirlo en agua, cosa que producía una cantidad de vapor suficiente para apagar el coque sin que se impregnase de humedad. Una disposición habitual consistía en disponer dos baterías de cámaras, una en frente de la otra, de manera que los carros extintores podían ser comunes a las dos.

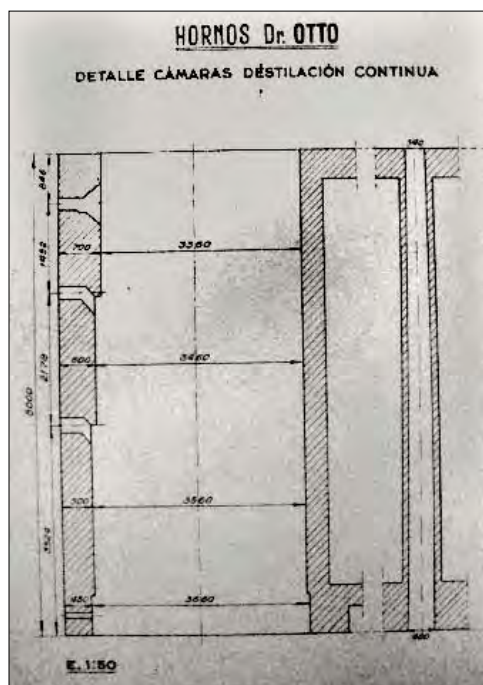


Instalación de hornos de cámaras inclinadas
(Masse, 1926: 203).

Para calentar los hornos de cámaras inclinadas se utilizaba un gasógeno que estaba situado delante del macizo del horno. También se recuperaba el calor del aire secundario. Los quemadores estaban formados por conductos de piezas refractarias encajadas situados entre dos cámaras. Había un tabique delgado que separaba la corriente de gas combustible de la del aire secundario.

3.4.7. Los hornos de cámaras verticales de Dr. Otto

En 1920, la empresa Dr. Otto & Comp, que había sido fundada en 1872 por el químico alemán



Hornos Dr. Otto (AHFGNF, caja 2275).

Carlos Otto y el director de minas Wilhelm Hiby, construyó los primeros hornos de cámaras verticales que desarrolló en los años posteriores mediante las pruebas realizadas en su taller de Dahlhausen. En 1926, ya bajo la dirección de Carl Otto, hijo del fundador, y de Hans Fusbahl, la empresa se trasladó a Bochum. Entre 1933 y 1935, Catalana de Gas y Electricidad firmó diversos contratos con la empresa Dr Otto & Comp. de Bochum para instalar en Barcelona unos hornos de cámaras verticales de destilación continua.

Se trataba de seis hornos de cuatro cámaras cada uno que tenían que producir 122.000 m³/día de gas. Las cámaras eran paralelepípedos de 8 m de alto por 3,46 m de largo y 0,46 m de ancho con unas paredes que presentaban una inclinación de solamente 7,5% constante a lo largo de toda su altura, como se puede ver en la figura anterior.

Estas 24 cámaras funcionaban con destilación continua de hulla que caía por acción de la gravedad desde lo alto de la cámara mediante la acción de unas tolvas, unos elevadores y unos transportadores que la distribuían en unos silos de servicio de los hornos con capacidad de 40 tn/hora. Esta hulla era calentada mediante la combustión del gas generado por tres gasógenos centrales independientes de las baterías. Estos disponían de camisa de agua para obtener vapor que era convenientemente inyectado en la cámara produciendo gas de agua. Tenían además una parrilla giratoria y un purificador de gas. La descarga del coque se producía por la parte inferior mediante un dispositivo de camisa de agua doble que posibilitaba la autoproducción de vapor de agua el cual servía también para la inyección continua de las cámaras. De esta manera se conseguía un doble efecto: apagar el coque y producir gas de agua. A continuación, el

coque se recogía en vagonetas, era conducido mediante un transportador a la sección de cribado y se utilizaba después para alimentar los gasógenos centrales.

La batería de hornos, sustentada sobre una infraestructura de hormigón armado, estaba construida de material silícico mientras que los conductos y paredes externas lo eran de material silícico-aluminoso. El gas producido por cada cámara salía por un tubo de 250 mm de diámetro situado en la parte superior desde donde iba a parar al barrilete. Este era de tipo seco y estaba unido a los de las otras cámaras mediante un colector general.

En 1935, un químico de la empresa Dr. Otto se trasladó a Barcelona para verificar las pruebas de garantía de esos hornos. A tal efecto se pusieron en marcha dos hornos a razón de 12 horas para comprobar su rendimiento y también se ensayó la producción de gas de agua carburado por la inyección de alquitrán y por inyección de fuel oil. Las garantías ofrecidas se basaban no solamente en el comportamiento de la instalación sino también en la especialmente baja calidad del carbón español que en este caso era hulla fresca menuda procedente de la mina asturiana de Duro Felguera. La instalación se puso en marcha en enero de 1936 y se verificaron las pruebas de recepción. Pero desde el principio surgieron problemas de funcionamiento, como explica un informe de 1947:

“dejando aparte que las cifras de rendimiento en gas, poder calorífico del

mismo y consumo específico del coque distan mucho de las garantías ofrecidas, la capacidad de producción de la instalación quedó reducida a menos de la mitad, trabajando con grandes dificultades y empleando aproximadamente unas 3,5 veces más de mano de obra que el que se había garantizado, siendo su seguridad personal sumamente precaria, requiriéndose además un esfuerzo duro y pesado, completamente distinto al que cabía esperar de una instalación de esta índole, en la cual se pretendía mejorar las condiciones de trabajo, hasta su grado máximo”.²⁰

Hubo dificultades de mantenimiento de la temperatura de los hornos debido a las continuas obstrucciones del quemador del gasógeno con el polvo de coque y el alquitrán que era arrastrado por el gas, no sirviendo de nada que se instalara un scrubber. Una de las causas de este problema era que el descenso del carbón dentro de las cámaras se realizaba con gran dificultad, ya que quedaba retenido en el tercio superior impidiendo la entrada de nuevo carbón y disminuyendo la producción del gas a parte de aumentar la presión y generar fugas. Estos defectos no se pudieron solucionar ni variando la frecuencia de extracción del coque, ni modificando la cantidad de vapor inyectado por unidad de hulla tratada. De hecho, el proceso de extracción del coque, debido a las llamaradas que producía, obligaba a interrumpir la destilación con lo que se afirmaba irónicamente que estos hornos lejos de pertenecer al tipo de destilación continua correspondían a unos de marcha intermitente.

²⁰ Archivo histórico Fundación Gas Natural Fenosa. Caja 2275.

Los técnicos alemanes que podían haber solucionado estos problemas se ausentaron en 1936 en buena medida por razones del conflicto civil que se vivió en España y no fue hasta 1942, tres años después de concluida la guerra civil española, que la empresa Dr. Otto & Comp. se comprometió a sustituir gratuitamente los hornos existentes por otros de cinco cámaras de destilación discontinua. Sin embargo, la situación de guerra que se vivía en estos años en Europa retrasó esta obra ya que en 1943 la sede central de la empresa en Bochum quedó primero dañada por los ataques aéreos y en 1944 destruida totalmente, con lo que redujo sus actividades solamente a trabajos de reparación. (Die Firma, 2003)

No fue hasta 1947 que se volvió a recuperar este proyecto de transformar los hornos continuos de cámaras verticales por otros de discontinuos. Estos nuevos hornos, en ese proyecto inicial, se caracterizaban por tener unas cámaras de dimensiones un poco inferiores a las existentes (7,5 m de alto, 3,70 de largo y 0,355 m. de ancho) pero con mayor inclinación (un 10%). Los hornos solo funcionarían 16 horas, de las cuales 14 se destinarían a la destilación seca y 4 a la inyección de vapor para la producción de gas de agua.

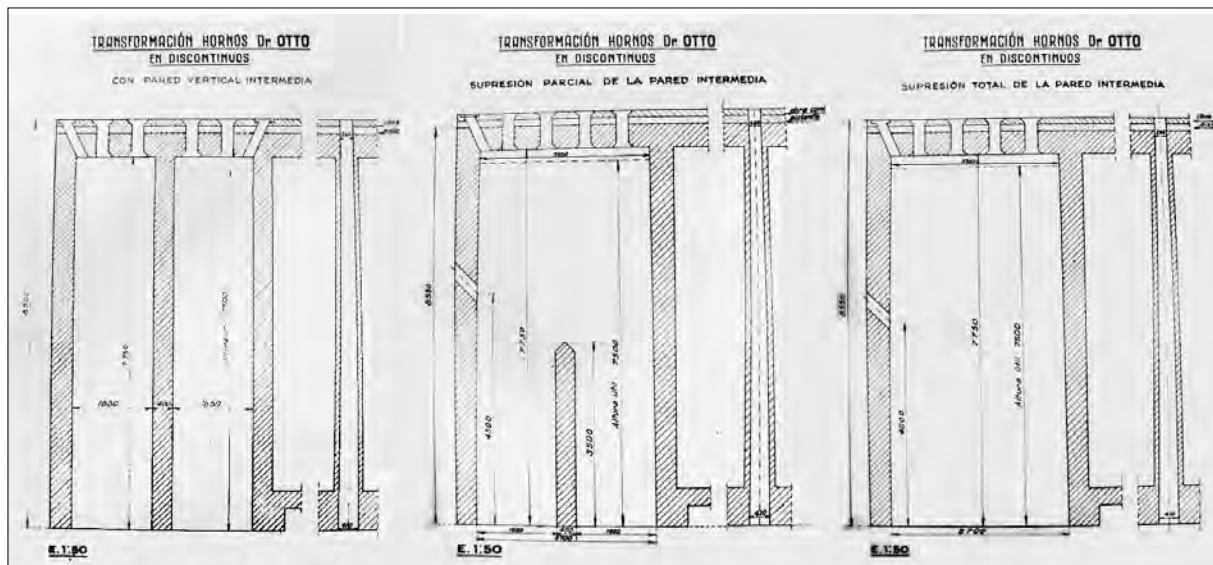
Para asegurar el funcionamiento correcto, la empresa Dr. Otto propuso reconstruir el horno nº 1 con cuatro cámaras de destilación discontinua de manera que las cámaras fuesen diferentes. Una sería entera con puerta única, las otras dos tendrían un tabique intermedio hasta media altura. Y la última se construiría con un tabique intermedio en toda su altura. La primera cámara tendría una gran capacidad pero por esa razón podía tener problemas de retenciones de hulla y por ello se ensayaron dos más con pared intermedia para conseguir que al dividirse la

masa de carbón en la parte inferior se pudiese dar mejor salida al gas producido. Finalmente, con las dos medias cámaras, se podía conseguir una producción mas regular si se organizaba alternativamente la carga y la descarga.

Para la empresa Otto esta obra no significaba una novedad ya que en Alemania había realizado una instalación similar que estaba funcionando desde hacía tres años sin dificultades. En la fábrica de Barcelona, dado el deterioro de la instalación existente, no se pudo aprovechar ninguna de las piezas de las 24 cámaras para la reconversión de los hornos continuos en discontinuos.

A lo largo de 1951 se procedió a la demolición de los hornos existentes y al año siguiente se realizó la construcción de las nuevas baterías. Finalmente las dimensiones de las nuevas cámaras fueron de 6,425 m de alto por 3,7 m de largo, mientras que la anchura era 0,27 m en la parte superior y se ensanchaba hasta 0,35 m en la parte inferior.

Acabadas estas cámaras, fue en septiembre de 1954 cuando se realizaron las pruebas de recepción consiguiéndose una producción superior en un 9,5% a la prevista inicialmente. La puesta en marcha de los seis hornos de cinco cámaras verticales cada uno comportó que se tuviese que aumentar la producción de los gasógenos a fin de disponer del gas necesario para calentar esas cámaras y de la obtención de un remanente de gas pobre para mezclar con el gas de hulla con el objetivo de conseguir la potencia calorífica superior de 4.780 kcal/m³ a 0°C y 760 mm de presión. Los hornos Otto de la fábrica de la Barceloneta funcionaron hasta mediados de la década de los sesenta en que se sustituyeron por instalaciones modernas basadas en el craking catalítico de naftas ligeras.



Cámaras Otto con pared vertical intermedia entera, media pared o sin ella (AHFGNF, caja 2275).

3.5. El almacenaje del gas

Después de la purificación, el gas era conducido a los gasómetros. Estos depósitos tenían como finalidad esencial almacenar el gas producido y también proporcionarle una presión regular de manera que el consumidor recibiese el gas de forma adecuada para que la llama fuese uniforme. Se les llamó gasómetros, que quería decir, medidores de gas, porque se pensó que podrían hacer esta función y su nombre se ha mantenido aunque su función se ha reducido básicamente al almacenamiento.²¹

La necesidad de almacenar el gas nació desde el momento en que se descubrió que conservarlo podía ser útil, ya que así

podía ser quemado a voluntad en lugares diferentes de donde era producido. Por eso James Clayton recogió en unas vejigas el gas procedente de la descomposición de la hulla por el calor. Más tarde, cuando lo necesitaba, les practicaba un pequeño agujero y hacía salir el chorro de gas delante de la llama de una vela produciendo una llama continua (*Philosophical Transactions*: 1739). Sin embargo, tanto la invención del primer gasómetro como su denominación se deben a Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794).

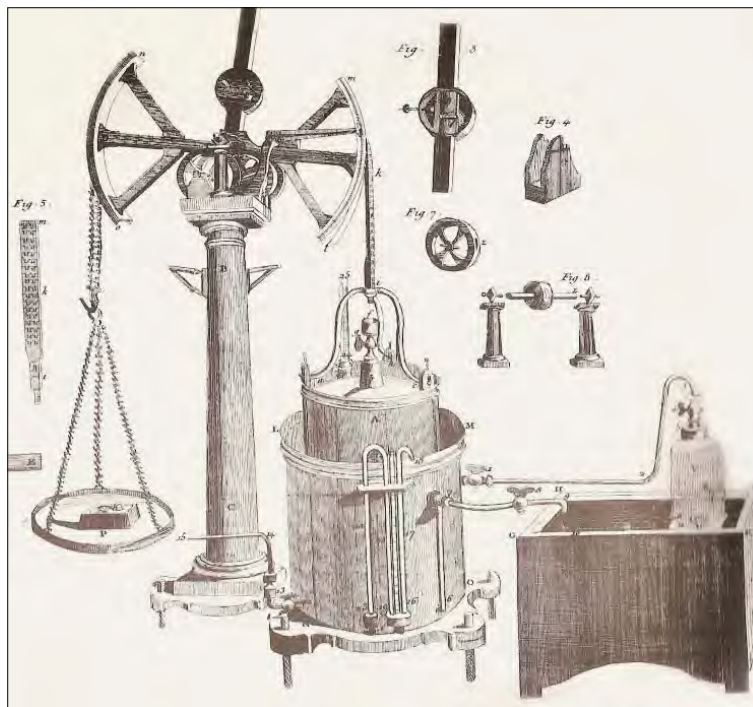
Lavoisier construyó una campana cilíndrica de cobre sostenida por tres brazos y una cadena de pequeñas dimensiones (48,6 cm de diámetro y 54 cm de altura) y la sumergió en una cuba llena de agua que estaba atravesada

²¹ En cambio en inglés inicialmente se llamaban “Gasometers” (medidores de gas) y debido al cambio de uso se prefirió llamarlos “Gas-holders” (depósitos de gas).

por los tubos de entrada y salida de gas a la campana. Utilizó este aparato para almacenar oxígeno y suministrarlo en forma uniforme en sus experiencias de laboratorio. La llamó gasómetro al incorporarle un arco de círculo con un índice fijo y un nonio que le permitieron poder medir los movimientos de la campana y una balanza para poder equilibrarla.²² En el *Tratado Elemental de*

Química, Lavoisier representó el gasómetro de su invención en una vista de conjunto y en seccionado para que pudiese verse su interior (Lavoisier, 1864: pl. VIII, fig.1; pl. IX, fig. 2 y 4)

Los primeros gasómetros utilizados tuvieron más utilidades que la de almacenar. Como hemos dicho antes se utilizaban también

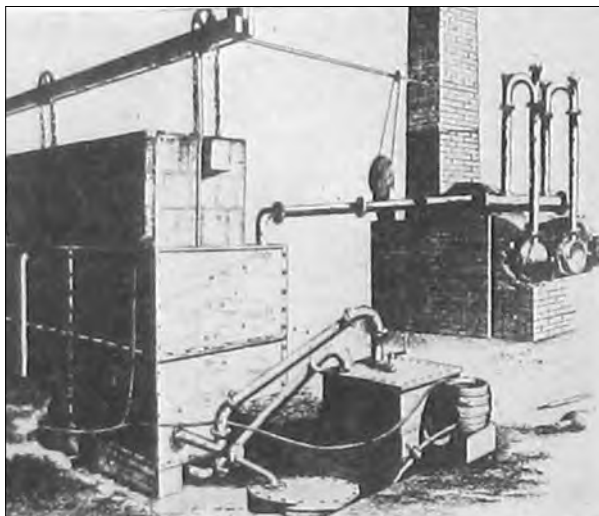


Gasómetro de Lavoisier (Lavoisier, 1864: pl. VIII, fig.1).

²² “Je donne le nom de gazomètre à un instrument dont j’ai su la première idée et j’avais fait exécuter dans la vue de former un soufflet qui pût fournir continuellement et uniformément un courant de gaz oxygène pour des expériences de fusion.” (Lavoisier, 1864: 260)

(Doy el nombre de gasómetro a un instrumento cuya idea conocía y que me apresuré a ejecutar a fin de que sirviese para proporcionar un flujo de gas oxígeno de manera continua y uniforme para los experimentos de fusión).

para medir el gas consumido. Pero además se hicieron intentos de aprovechar el paso del gas a través del agua para purificarlo. Así, en 1804 William Murdoch construyó una cuba de un gasómetro para la fábrica Boulton & Watt en la cual el gas además de ser almacenado se limpiaba y purificaba debido a que barboteaba a través del agua. Pero fue dos años después que Samuel Clegg con el mismo propósito se le ocurrió añadir cal apagada al agua del gasómetro de la fábrica Harris de Coventry.



Gasómetro instalado por Samuel Clegg para el librero Ackermann (Association, 1960, 6).

En esos primeros años del siglo XIX los gasómetros, que podían ser fijos o móviles, eran de poca capacidad y estaban en el interior de un edificio de protección. Se construían con la cuba de madera o de plancha de fundición remachada

y con la campana de chapa. El gas entraba y salía por la parte inferior de la cuba. Un modelo a seguir fue el de la instalación que Clegg hizo en 1806 para el librero Ackermann de Londres en la que el gasómetro tenía sección rectangular.

Pero el uso de los gasómetros para depurar fue breve, las dificultades con que se tropezó Clegg tanto en la instalación de la Ackermann como en la que realizó en 1807 en el Colegio de Stoneyhurst le llevaron a separar el proceso de depuración del gasómetro y a instalar un depurador de cal independiente. Con esto empezó una nueva fase para los gasómetros (Association, 1960: 5-7).

3.5.1. Los gasómetros

Entre 1807 y 1816, los gasómetros que se construyeron fueron aumentando de capacidad al tiempo que se introducían mejoras para estabilizar la presión de salida del gas. De nada sirvieron las recomendaciones de no aumentar la capacidad de almacenaje por encima de 170 m³ ya que se construyeron gasómetros de capacidades mayores (en Peter Street hubo 5 gasómetros de 420 m³ cada uno). Fue precisamente este el motivo de que se adoptase la forma cilíndrica en preferencia a las otras, al proporcionar más volumen en menor espacio. Así, el 1817 se construyó en Chester un gasómetro de 745 m³ con una cuba cilíndrica excavada en el suelo a pico y pala sin madera ni planchas de fundición. La capa de arenisca era tan sólida e impermeable que solo tuvieron que tapar las fisuras (Clegg, 1860: 194).

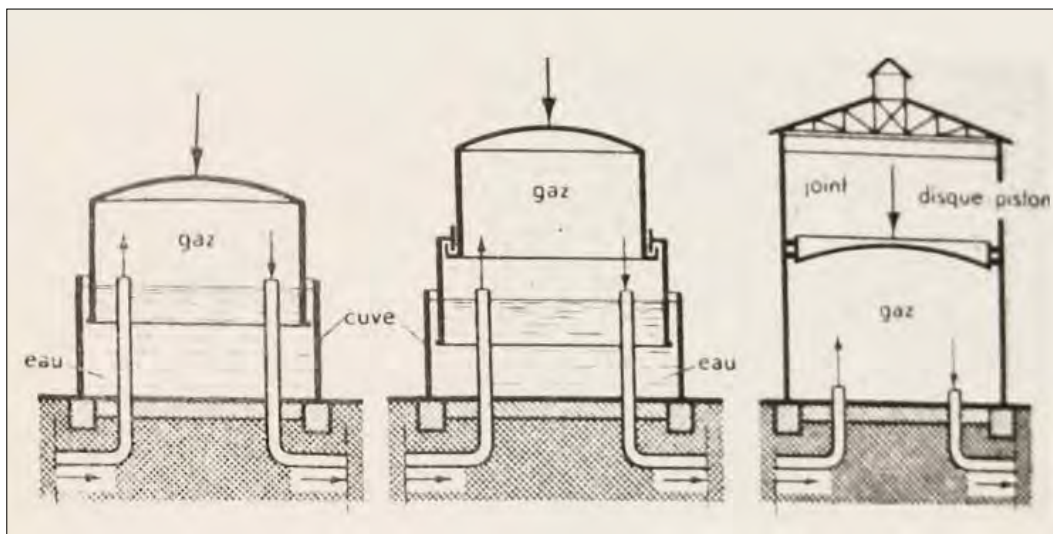
Entre 1816 y 1825 empezaron a introducirse los ladrillos en la construcción de los gasómetros y su volumen siguió incrementándose. William Congreve en un informe

afirmaba haber visto uno de 1.130 m³. Sin embargo algunos accidentes ocurridos en Manchester y en Brighton llevaron a las autoridades a renovar el consejo de prudencia recomendando que los gasómetros estuviesen separados entre si 12 metros si entre ellos no había una espesa pared de ladrillos. Se pensó entonces en construirlos al aire libre sin edificio que los protegiese (Nodier, 1823b: 122).

El desarrollo de los primeros gasómetros fue básicamente inglés. Francia y Alemania se incorporaron algo más tarde. Sin embargo, entre 1822 y 1823 la Société Pauwels construyó para la fábrica de Faubourg Poissonière dos gasómetros grandes con cuba de piedra y campana suspendida con contrapesos, cerrados en un edificio ventilado por la parte superior. En Hannover, Alemania el uso del gas empezó en 1825 con la construcción de

una fábrica equipada precisamente con dos gasómetros de 340 m³ (Association, 1960, 12).

En todos los gasómetros posteriores hubo dos problemas fundamentales que condicionaron su desarrollo. En primer lugar, el mantenimiento de presión de salida del gas (entre 80 y 120 mm de columna de agua), fundamental para asegurar la estabilidad de la llama y, en segundo lugar, el incremento de su volumen de almacenamiento. En los gasómetros más simples esta presión venía dada por el peso de la campana. Se trataba de los gasómetros húmedos o hidráulicos que inicialmente tuvieron un solo nivel y más tarde incrementaron su capacidad dando lugar a los gasómetros telescópicos de dos o más niveles. Posteriormente se construyeron gasómetros sin cisterna de agua en los que la presión se mantenía con la acción de un pistón o émbolo. Eran los gasómetros secos (Bosko, 1957: 179).



Gasómetro hidráulico, gasómetro telescópico y gasómetro seco (Bosko, 1957:179).

3.5.2. El gasómetro hidráulico

El gasómetro hidráulico se componía de dos partes diferenciadas. La primera consistía en una cuba o cisterna cilíndrica llena de agua que podía estar fabricada con materiales diferentes como madera, ladrillo, fundición, etc. En Francia las cisternas eran de mampostería maciza recubierta con una capa impermeable, pero en Inglaterra y Bélgica se prefería las de hierro, dado su bajo coste. Por eso estaban formadas por planchas de fundición unidas mediante roblones (Figuier, 1873-1877: 1439). La segunda parte era un cilindro de chapa cerrado solo por la parte superior que se solía colocar como una campana sobre la cuba llena de agua. Este recipiente era el que realmente contenía el gas. Si se escogía la forma cilíndrica era porque, excepto la esfera, es la figura que con menor superficie consigue más volumen y además se deformaba menos por acción de su propio peso o por otras causas externas.

La capacidad del gasómetro estaba directamente relacionada con el consumo en un tiempo dado y este valor condicionaba sus dimensiones que habitualmente solían mantener la relación de la altura similar al radio de la base. En 1873, un gasómetro grande solía tener de 30 a 35 m de diámetro y se utilizaban para iluminar grandes ciudades, mientras que en ciudades pequeñas oscilaba entre 15 y 20 m (Laboulaye, 1873: I, 1208). Para garantizar el suministro en caso de accidente o de reparación era habitual que hubiese dos gasómetros. La altura alcanzada por el gasómetro cada hora era un buen indicador de la producción y del consumo, de ahí su uso inicial como contador de gas.

La construcción de las cubas estaba relacionada

con la naturaleza del terreno, su valor comercial y el precio de los materiales. Cuando la roca era sólida se solía excavar en ella para fabricar la cisterna aprovechando las características del terreno. Sin embargo, si el terreno no era tan sólido, entonces era preferible construir la cisterna sobre el terreno. Había cisternas que se construían bajo tierra y otras encima o elevadas. Podían excavar en la roca, ser construidas de madera, de ladrillo, de arcilla, de cemento, de fundición de hierro, de chapa o de alguna combinación de diversos materiales.

Las cubas o cisternas de madera estaban compuestas de planchas de ese material encajadas y unidas por aros de hierro similares a los toneles. Presentaban dos inconvenientes, su limitada durabilidad y la dificultad de mantener su estanqueidad. Por eso se fueron abandonando poco a poco para ser sustituidas por las cubas de mampostería. En 1841 en París había aún en funcionamiento tres gasómetros con cubas de madera, una de 100 y la otra 120 m³ y en Holanda se construyeron otras similares, una Róterdam en 1853 y la otra en Leyden en 1877. Su principal ventaja era que salían a mitad de precio que las de fundición y a dos tercios de las cubas de mampostería (Association, 1960, 12).

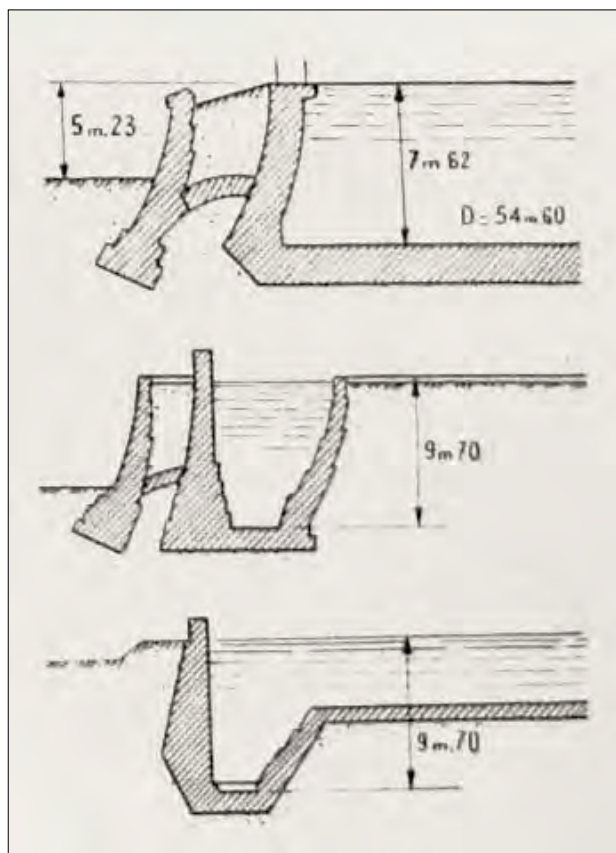
En Inglaterra, debido al bajo precio del hierro, se construyeron cubas de fundición uniendo planchas de forma cilíndrica con roblones. Inicialmente tomaron una forma más estilizada que las construidas con otros materiales. Así pues, la relación entre la altura y el diámetro era el doble que en otras cubas. Sin embargo a medida que se fue incrementado su volumen la forma de unas y otras se fue aproximando. Un argumento

a favor del uso de la fundición era la mala resistencia del terreno. Además, se podía garantizar mejor su seguridad ya que solían ponerse sobre el terreno y no semienterradas. En 1836 en Anveres había dos cisternas de dos gasómetros de 80 m³ cada una. También se construyeron de este tipo en 1844 en la fábrica de Wellington Street. El incremento del diámetro a medida que aumentaba la capacidad no fue un obstáculo para el revestimiento de fundición. Solamente fue necesario incorporar unos anillos exteriores situados a intervalos regulares que ejerciesen de cinturón y soportasen mejor la presión del agua sobre la cuba (Association, 1960, 18).

A parte de la madera y la fundición, se construyeron gasómetros con ladrillos combinados con mortero (mezcla de cemento y arena) de baja calidad. Los materiales de los ladrillos y del mortero dependían del lugar de realización y, para evitar las filtraciones o que el agua pudiese ser absorbida por la porosidad de los materiales, se solía cubrir su interior con una capa de alquitrán antes de poner el agua. De este tipo se construyeron en 1822 los gasómetros de Faubourg Poissonnière, en 1836, los de la Compañía Lacarriere y de la fábrica de la Courcelles. En 1872, se construyeron los gasómetros de la Villette cuyas cisternas se recubrieron con una capa de cemento y cantos rodados. No solo en Francia se utilizó la mampostería, también en Alemania, debido a que eran vistos como más seguros que los de fundición (Association, 1960, 15).

A partir de 1870, debido a los progresos de la fabricación del cemento Pórtland se construyeron cisternas de hormigón mezclando cemento, arena y grava obteniéndose un material que resistía mejor los esfuerzos de compresión. A veces, para

conseguir mejor resistencia a la tracción se empleaba hormigón armado. A partir de este momento los cambios que se produjeron afectaron a la composición del hormigón y a la forma de los hierros si se trataba de hormigón armado. Hubo gasómetros de este tipo en las fábricas francesas de Mans, Clermont y Saint-Etienne, en las inglesas de East-Greenwith (Association, 1960, 19).



Perfiles de las cubas de mampostería
(Association, 1960: 15).

En general las cubas solían ser de paredes más gruesas en su base para poder afrontar la presión del agua y disminuían su grosor a medida que se elevaban. En algunos casos se construyeron cubas de doble capa que consistían en dos cilindros concéntricos. De esta manera, llenando de agua solo el espacio anular comprendido entre los dos cilindros se evitaba tener que llenar toda la cuba y su espesor se podía reducir.

El otro elemento fundamental del gasómetro era la campana. En ella era donde propiamente se alojaba el gas. Subía y bajaba en función de la cantidad de gas contenida. La campana se construía de planchas de chapa de 2 a 3 mm de espesor unidas con roblones y recubiertas con una capa de alquitrán caliente, renovable cada año, que las preservaba de la oxidación.

Las campanas, aunque eran muy delgadas tenían grandes dimensiones y por consiguiente pesaban mucho. Por ello se requería unos elementos de sujeción o sistemas de suspensión muy precisos, ya que se tenía que guiar su movimiento al tiempo que se regulaba la presión de salida del gas. Téngase en cuenta que una presión elevada podía afectar a todos los aparatos y ocasionar fugas indeseadas.

Un sistema de suspensión básico consistió en sujetar la campana por su centro a una cadena cuyo extremo estuviese asido a un peso. En este caso, al peso se debía añadir el de la cadena de sujeción de manera que solía ser aconsejable que un metro de cadena fuese igual al peso del volumen del agua desplazada por un metro de altura del gasómetro. Una mejora a este sistema consistió en repartir la sujeción entre cuatro, ocho o doce ganchos a los que se sujetasen las respectivas cadenas de manera que el extremo de cada una de ellas tuviese su respectivo contrapeso.

En un principio los gasómetros se construían con la campana suspendida, pero a medida que su volumen se fue incrementando se abandonó este sistema en beneficio del denominado de movimiento libre. Los gasómetros de campana suspendida solían llevar una cadena y unos contrapesos fijados a la viga del edificio. Algunos tenían guías para la campana, la cual estaba sostenida por tres cables dispuestos en forma radial a 120°, en otros se construyó un tubo central que se destinó a alojar el contrapeso. En París, en la calle de la Tour du Temple hubo un gasómetro suspendido que tenía una columna central de fundición que sostenía unas traviesas exteriores a las que se fijaban las poleas. La campana estaba provista de un manguito de chapa en el centro que envolvía la columna y se sostenía mediante cuatro cadenas dispuestas a 90°.

En 1829 se construyó en Londres (Fulham-Station) un gasómetro que tenía una superestructura formada por cinco caballetes que en conjunto ejercían de guía. Fue el primer gasómetro de movimiento libre. La campana se desplazaba libremente dentro de la armadura. En 1831, también en Inglaterra, surgió un nuevo tipo de guía de campana. Consistía en la incorporación de unos rodetes inferior y superior respectivamente. El rodete inferior rodaba sobre unos soportes de madera insertados verticalmente a las paredes interiores de la cuba mientras que los superiores rodaban sobre unas ranuras practicadas en los montantes de la superestructura.

Poco a poco las guías se fueron perfeccionando, dando lugar a cuatro maneras diferentes: 1) Las guías secas; 2) Las guías tangenciales; 3) Las guías helicoidales; y 4) Las guías paralelas.



FIG. 27. — Premier gazomètre comportant des chevalements en bois.
Diamètre : 15,20 m ; hauteur : 5,50 m ; volume : 990 m³.
Usine à Gaz de Fulham-Station, 1829, encore en service en 1859.

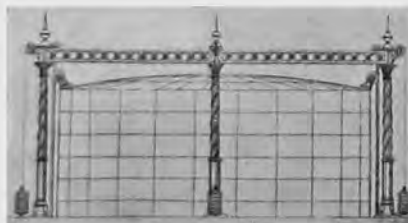


FIG. 29. — Cloche équilibrée par contrepoids (1^{er} type) ; galets normaux.
Diamètre : 9 m ; hauteur : 3,60 m ; volume : 200 m³.
Construction anglaise (vers 1842).



FIG. 28. — Les deux premiers gazomètres de l'Usine à Gaz de Cologne.
Cuve enterrée ; chevalement bois, Construction : 1840-1841.

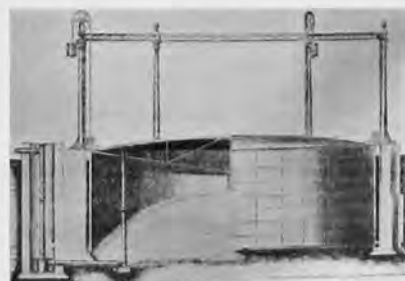


FIG. 30. — Cloche équilibrée par contrepoids (2^e type) ; galets normaux.
Diamètre : 12,40 m ; hauteur : 4,60 m ; volume : 550 m³.
Charpente mobile sous calotte. Construction : 1842-1850.

Gasómetros con diferente sujeción (Association, 1960: 26).

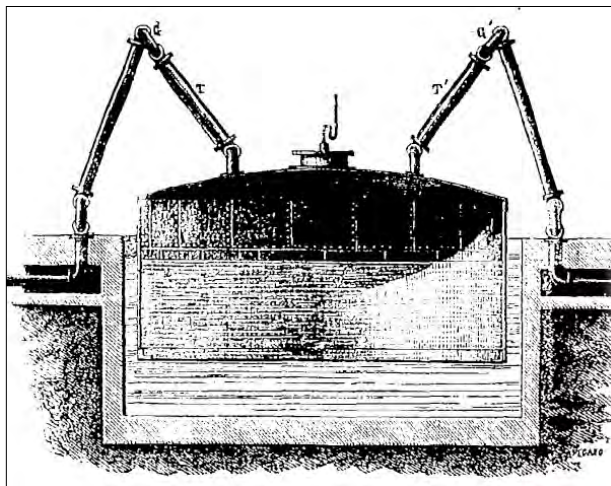
A veces se suprimían los rodillos de la parte inferior y en su lugar se colocaban unas anillas que discurrían por unas barras de hierro redondas dispuestas verticalmente, a este sistema se le llamó de guía seca. Pero los rodetes normales tendían a deformar la campana sobre todo en la parte baja en donde rodaban sobre la superficie interior de la cuba. Por ello se pusieron guías de hierro en forma de T para cada dos rodetes y se aplicó tanto a la parte inferior como en la superior, fueron las llamadas guías tangenciales. Este tipo de guía se difundió rápidamente princi-

palmente después de un accidente que hubo en el gasómetro de Ivry. La disposición de los rodetes en T representó como ventaja la facilidad de vigilancia y una mayor rigidez del conjunto. Lo adoptaron las fábricas de Poissy, Versailles, Mets y en el gasómetro de Marsella.

Las guías helicoidales se patentaron en 1887 y se solían aplicar en gasómetros de dos o más niveles llamados gasómetros telescópicos, como los de Norwich y Leeds. Consistían en 8 raíles de acero a 45° encastados en la pared interior de la cisterna y remachados sobre los elementos de la campana. La ventaja principal

3. El proceso de producción de gas de hulla

fue la economía en el coste de la construcción. También hubo algunas guías helicoidales con los raíles fuera del agua que facilitaban el acceso y la reparación. Finalmente, algunos gasómetros utilizaron guías por cables o paralelas. Estos tenían la campana en movimiento libre dentro de la cuba y además, un conjunto de cables verticales que sujetaban la campana mediante un contrapeso. En otros gasómetros los cables se conectaban tanto a la parte superior como en la inferior y de ahí iban a unas poleas y posteriormente a un contrapeso. La principal ventaja de este sistema era la reducción considerable del rozamiento (Association, 1960: 28-30).

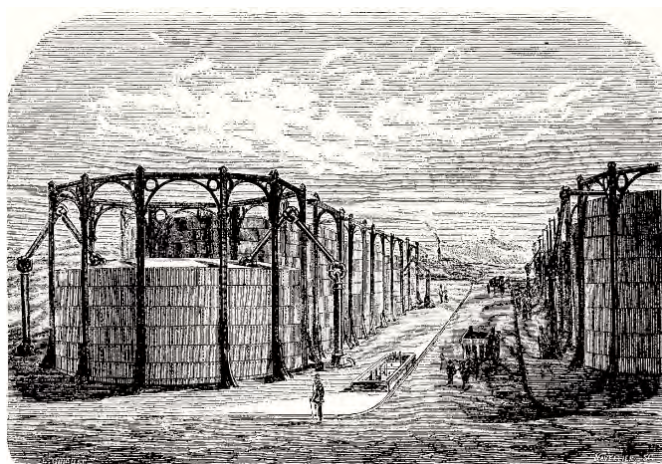


Gasómetro Pauwels (Laboulaye, 1873: I, 1210).

En París, la Compagnie Parisienne aplicó un sistema de suspensión nuevo ideado por Antoine Pauwels que constaba de dos tubos acodados que servían además para la entrada y la salida del gas. Este método presentaba la ventaja de evitar obstrucciones y de compensar el peso de la campana modificando

la inclinación de estos tubos (Laboulaye, 1873: I, 1210).

En el gasómetro de Pauwels el gas entraba y salía por arriba mediante estos tubos articulados. Así, cuando el gas salía, el gasómetro bajaba por su propio peso dentro de la cisterna llena de agua y se mantenía gracias a unos pilares de fundición. Cuando se iba llenando de gas, la campana iba subiendo poco a poco en virtud del peso específico del gas. La Compagnie Parisienne construyó doce gasómetros de este tipo en su fábrica de La Vilette en París. Cada uno de ellos tenía una altura de 13 m y un diámetro de 32 m cosa que les daba una capacidad de 10.000 m³ a cada uno. Este sistema se aplicó también en Inglaterra y fue muy apreciado por lo fácil que resultaban las reparaciones al tener los tubos en el exterior (Journal, 1931: 98).



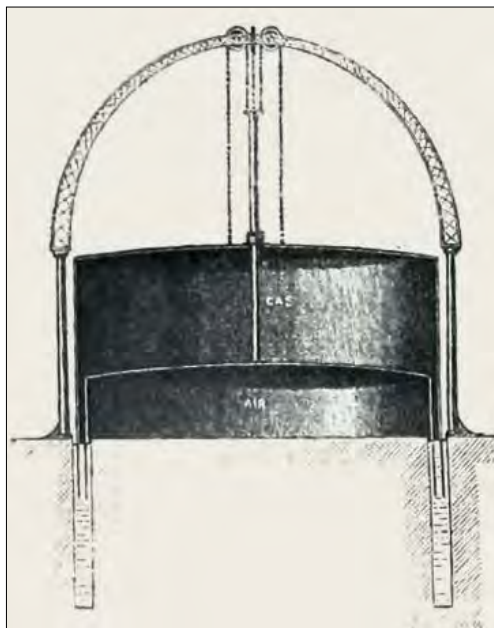
Gasómetros de la Vilette (Figuier, 1873-187: 146).

El éxito de la sujeción por tubos acodados fue considerable entre los ingenieros gasistas porque era de una simplicidad envidiable y permitía unas cisternas sin agujeros ni columna de mampostería y sin obstrucciones por naftalina. Además eran especialmente apropiados para reconvertir los gasómetros simples en gasómetros telescópicos. Hacia 1875 se confeccionaron tubos de caucho para sustituir los tubos acodados, de esta manera se evitaba la prensa estopas y se reducía la sobrecarga de la campana. Pero no tuvieron demasiada implantación (Association, 1960: 32).

3.5.3. El gasómetro telescópico

Cuando el terreno era escaso o no muy bueno, o el precio de construir la cuba era muy elevado, se construían gasómetros en dos o más partes que entraban unas dentro de las otras como los tubos de un telescopio. Por eso se llamaron gasómetros telescópicos.

La invención del gasómetro telescópico se atribuye a Alexis Sauvage (1781-1857), obrero mecánico encargado entre 1820 y 1830 de la ejecución y vigilancia de la iluminación de París, quien en 1821 puso en servicio uno de estas características. También en Inglaterra William Stratton aplicó el principio del gasómetro telescópico construyendo un gasómetro llamado doble que tenía una cuba de forma anular con dos campanas concéntricas (Peckston, 1819: 268). La exterior tenía el doble de altura que la interior y ambas estaban sujetadas y equilibradas por dos cadenas y un eje central sujeto al casquete de la campana pequeña. El gas entraba y se alojaba en este gasómetro doble en el espacio que quedaba entre las dos campanas.



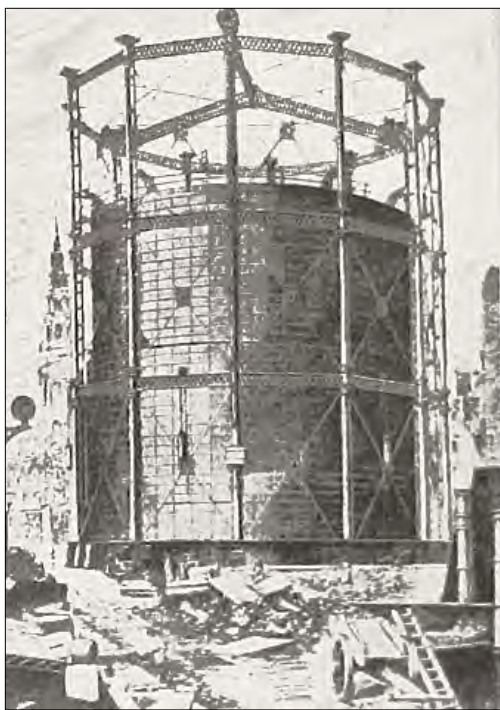
Gasómetro doble de Stratton (Association, 1960: 35).

Hubo que esperar casi veinte años para que la invención del gasómetro telescópico se difundiese. En Francia, donde procedía este invento, fueron más reticentes a utilizarlos. En cambio en Inglaterra, la *South Metropolitan Company* hizo construir uno en 1838 y dos años después se erigió otro en Old Kent Road (Association, 1960: 35-36).

La característica principal de este tipo de gasómetros consistía en que la campana estaba formada por dos o tres cilindros que encajaban uno dentro del otro y de los cuales solo el más pequeño estaba cubierto por un casquete. Cuando no había gas todas las partes estaban encajadas y la parte superior se situaba al mismo nivel que la cuba. Cuando el gas llegaba, el cilindro más interior se elevaba y cuando estaba lleno el reborde que tenía arrastraba al segundo cilindro

que también se elevaba, y así sucesivamente. De esta manera se conseguía almacenar una gran cantidad de gas sobre una misma superficie. El único inconveniente de estos gasómetros era su elevado coste y que el sistema de suspensión con contrapesos tenía que estar equilibrado con mucho cuidado ya que, dada la altura alcanzada, la posibilidad de inclinarse y deformarse era aún mayor.

Los primeros gasómetros telescópicos eran de dos niveles. Pero en 1852 se construyeron a tres niveles en Londres, y unos años después en Brighton. Hubo que esperar hasta 1887 para que se erigiese uno en East Greenwich a cuatro niveles.



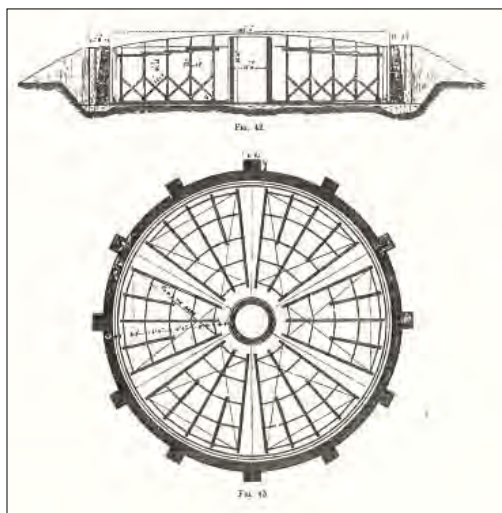
Primer gasómetro de tres niveles de 4.500 m³ construido en Londres en 1860 (Association, 1960: 36).

3.5.4. El gasómetro de Claudio Gil

Claudio Gil Serra, que había estudiado, entre 1843 y 1849, ingeniería en L'École des Arts et Manufactures de París, se encargó de poner en marcha un gasómetro telescópico en la fábrica de La Catalana en la Barceloneta en 1868 y también, más tarde, en la fábrica que esta empresa tenía en Sevilla. La importancia y singularidad de este gasómetro hizo que fuese descrito en la prestigiosa y completa obra sobre el gas titulada: *King's Treatise on the science and practice of the manufacture and distribution of coal gas*. Este compendio en tres volúmenes, promovido por William B. King y elaborado por Thomas Newbigging y W.T. Fewtrell, fue el texto más completo de ingeniería del gas escrito hasta aquel momento (Bragulat, 1990: 3).

La Sociedad Catalana del Alumbrado por Gas de Barcelona, conocida como La Catalana, fue la primera empresa de gas que funcionó en España. La fundaron un grupo de inversores catalanes en 1842, entre los que estaba la familia formada por Pere Gil Babot y Josefa Serra. Este matrimonio tuvo once hijos cinco de ellos varones que fueron ocupándose de las empresas familiares. Así Pere (1814-1867) y Pau (1816-1896) se ocuparon de la Banca Gil en París, José (1815-1877) se hizo cargo de la dirección de La Catalana entre 1849 y 1877. El pequeño de los hermanos varones Leopoldo (1826-1911), se ocupó de gestionar el legado familiar y principalmente de la construcción del nuevo Hospital de la Santa Creu i Sant Pau que pudo llevarse a cabo gracias a la aportación generosa que había hecho su hermano Pau Gil en su testamento (Arroyo, 2000: 66).

En dos ocasiones aparece citado Claudio Gil en el *King's Treatise*. En primer lugar para describir con detalle la construcción de la cisterna que estaba hecha de hormigón, cosa que en aquel momento resultaba una singularidad ya que lo habitual era que se construyese de fundición o de mampostería. El autor explica que debido a que la arcilla de Barcelona era escasa y de mala calidad, el hormigón se elaboraba con cemento Pórtland que era importado de Inglaterra. Se componía de una parte de cal, 9 de arena, 2 de agua, una de cemento y 39 de grava elaborada con piedras de diferentes dimensiones.



Depósito del gasómetro de Barcelona
(Newbigging, 1879: 90).

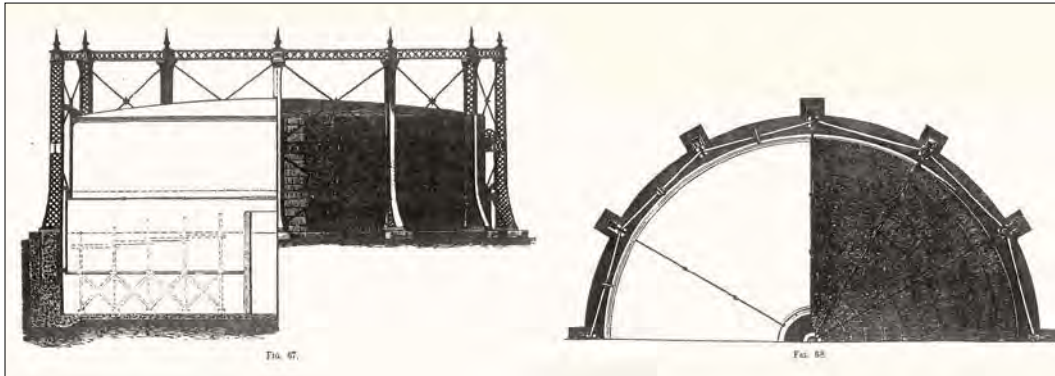
La cisterna tenía unos 32 m de diámetro y 6 de profundidad de los cuales unos 4 estaban bajo tierra. Además, dada la proximidad del mar en la Barceloneta, los cimientos estaban casi un metro bajo el nivel del mar. Los cimientos,

pilares y paredes eran de hormigón recubierto, por fuera y por dentro, con ladrillos dispuestos en sardinel. El interior estaba cubierto de un espesor de 9 mm de una mezcla de una parte de Pórtland y dos de arena. Para tener en cuenta las variaciones de la presión que el agua ejercería sobre el muro de la cisterna, este se construyó en disminución partiendo de 1,5 m en su base hasta casi un metro en el extremo superior.

El *King's Treatise* describe en estas páginas también la estructura de madera sobre la que descansaba la campana del gasómetro. Una estructura, formada por seis porciones separadas, cada una de las cuales sujeta por 21 postes verticales (en total 126) anclados en el suelo de la cisterna mediante unos cimientos de ladrillo, cemento y una barra de hierro transversal. Este conjunto de seis andamios estaba recubierto por dos capas de alquitrán para evitar que el agua los deteriorase (Newbigging, 1879: 90).

En el centro de la cisterna se levantaba una columna hueca también de ladrillos y mortero cuyo diámetro interior era de unos 4 metros y su espesor de 30 cm. Esta columna permitía una sujeción de la campana de forma muy simple pero homogénea.

No obstante, el gasómetro de la Barceloneta fue telescópico, es decir, tenía dos cilindros, uno exterior de 31 m de diámetro y otro interior de 30,5 m y de 6 m de profundidad cada uno. El cilindro interior se acababa con una cúpula que en su parte central se elevaba 1,5 m respecto al resto. Cuando estaban en reposo, el conjunto de los dos cilindros se soportaban por la estructura de madera antes descrita. Doce guías de 33 m de altura de hierro colado permitían la

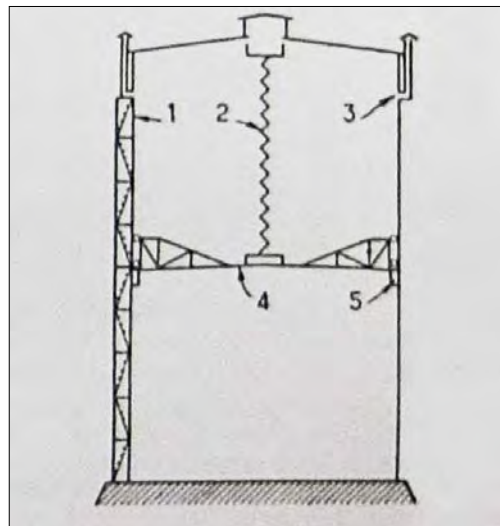


Gasómetro telescópico de La Catalana en la Barceloneta (Newbigging, 1879: 128).

elevación de la campana interior primero y del cilindro externo después (Newbigging, 1879: 128).

3.5.5. Los gasómetros secos

En 1924 la empresa *Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg A.G.* (M.A.N.) patentó un gasómetro que no tenía depósito de agua. Consistía en un cilindro o prisma vertical dentro del cual subía o bajaba un pistón en función del volumen de gas almacenado. Las paredes laterales o envoltura del depósito estaban formadas por unos montantes entre los que se situaban unas planchas de acero cuyo interior estaba exento de rugosidades derivadas de la unión. El pistón o disco era muy rígido y tenía un diámetro ligeramente inferior que el del interior del gasómetro. El espacio libre entre el pistón y la superficie interior del gasómetro debía ser estanco para evitar la salida del gas. Esto se conseguía mediante unas juntas circulares apropiadas que variaban según el modelo de gasómetro (Association, 1960, 117).



Esquema de un gasógeno seco (Association, 1960: 117).
1 Caja del ascensor exterior; 2 Ascensor interior;
3 Tubo de evacuación; 4 Pistón móvil; 5 Junta.

Hacia 1927 se habían construido 96 gasómetros secos de disco, el mayor de los cuales estaba en Estados Unidos y tenía una altura de 115 m, un diámetro de 78 m y una capacidad de

425.000 m³. En Alemania había otro también grande en la zona minera del Ruhr de 300.000 m³ (El Progreso, 1927: 7-8).

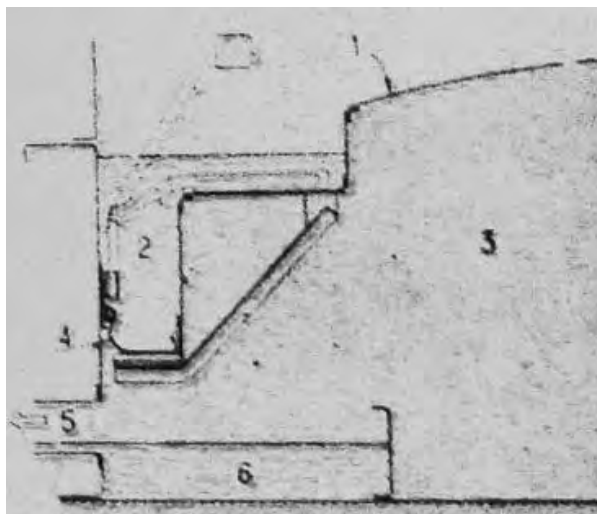
Los gasómetros secos se instalaron en aquellas zonas en que la consistencia del terreno no resistía el elevado peso de un gasómetro hidráulico, ya que a igual volumen se podía reducir el peso al 45%, eso sin contar el peso del agua. Así, un gasómetro seco de 225.000 m³ no pesaba más de 2.200 toneladas, mientras que el hidráulico no bajaba de las 65.000 incluida el agua.

Entre las ventajas de los gasómetros secos se encontraba que podían mantener la presión constante con más seguridad, que el gas permanecía seco y que eran de fácil mantenimiento e inspección. Sin embargo necesitaban ser vigilados continuamente y si estaban en una zona muy fría se corría el riesgo de que se formase hielo en la superficie interior de la envoltura estropeándose las juntas del pistón. El sol o el viento también podían deteriorar sus paredes ocasionándoles una forma abombada que afectaba al equilibrio del pistón. Eran precisamente estas uniones, que tenía que ser estancas, las que más riesgo podían comportar debido a las fugas.

El tipo de unión estanca que se estableció entre el pistón y la envoltente dio lugar a los diferentes modelos. Así surgieron los gasómetros secos M.A.N, Klöne, Wiggins y Bamag.

En el gasómetro M.A.N. se aseguraba la estanqueidad gracias a un canal, o taza de chapa, lleno de alquitrán compartimentado y unido por un lado al pistón y por el otro a la pared interior. El alquitrán se escurría en mayor o menor proporción por las paredes del gasómetro y se recogía en un depósito inferior

desde el que se bombeaba de nuevo al canal. Había que mantener la temperatura de este alquitrán para permitir su circulación y por ello se recalentaba para evitar su congelación. Este tipo de juntas tenían una duración aproximada de unos 10 años en los que había que vigilar que no se produjesen fugas y en caso contrario, repararlas si fuese preciso (Association, 1960, 119).



Junta del gasómetro M.A.N. (Association, 1960: 119)
1 Pistón móvil; 2 Junta líquida; 3 Gas; 4 Chapa;
5 Evacuación del alquitrán; 6 Alquitrán.

El gasómetro Klöne tenía una envoltente cilíndrica formada por planchas de idénticas dimensiones roblonadas y posteriormente soldadas que estaban unidas a unos montantes verticales. La superficie interior así conseguida era perfectamente lisa de manera que el pistón podía desplazarse sin trabas. Este tenía forma de casquete esférico y estaba guiado por dos hileras de rodetes situados en su parte superior.

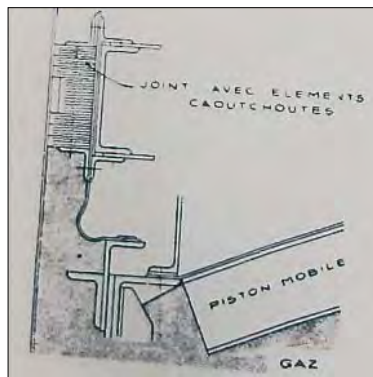
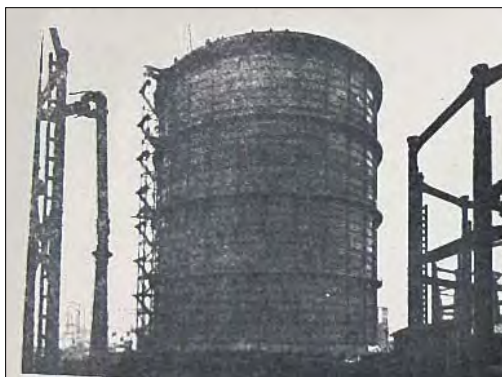
3. El proceso de producción de gas de hulla

La junta que permitía la estanquidad era plástica y estaba aplicada contra las paredes interiores sobre las que se deslizaba gracias a la lubricación conseguida con la grasa. Un contrapeso era el encargado de oprimir este collar recubierto de caucho deformable y flexible en el que había una ranura que recogía la grasa. Inicialmente el sistema de engrasado de esta junta era discontinuo pero para aumentar la seguridad, Gaz de France introdujo un sistema de engrasado automático y continuo mediante la instalación de un depósito de grasa y un grupo motor compresor que aseguraba la duración aproximada de engrasado de 15 días (Association, 1960: 120).

para almacenar el gas en las fábricas de acero.

También la casa Bamag comercializó un tipo de gasómetro seco en el que la junta estaba formada por un tubo de cuero repleto de aceite a baja presión, el cual, a través del rozamiento de este contra las paredes interiores, garantizaba la estanqueidad. Además la lubricación estaba asegurada solamente con la transpiración del aceite a través del cuero.

En Francia hacia 1953 se introdujo otro tipo de gasómetro seco basado en un prototipo utilizado en los Estados Unidos desde 1939 en la industria del petróleo. Era el gasómetro Wiggins. En este tipo, la junta que permitía la



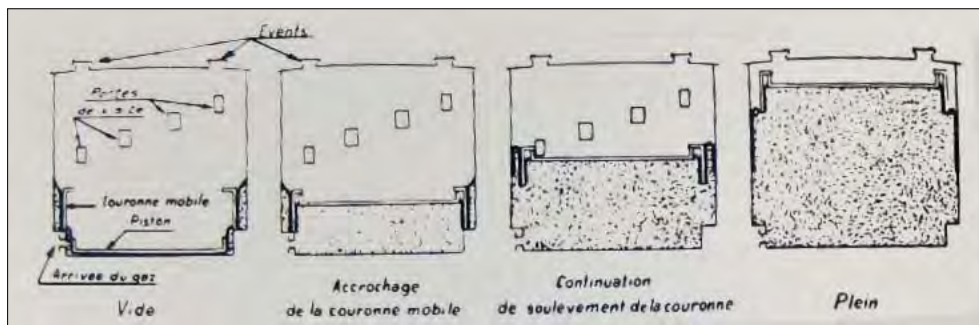
Gasómetro Klöne y detalle de la junta (Association, 1960: 120).

El gasómetro Klöne podía presentar problemas cuando, debido a las bajas temperaturas, la grasa aumentaba su espesor, cosa que dificultaba el deslizamiento del pistón. Para solventarlo, en sitios fríos, se solía calentar la grasa. Este tipo de junta no comportaba prácticamente reparaciones parciales y también tenía una duración aproximada de 10 años. Los gasómetros Klöne se solían utilizar

estanqueidad entre el pistón y la envoltura era una tela de caucho sintético flexible y químicamente inerte al gas. Esta membrana que actuaba como diafragma se desplegaba sobre la pared interior del gasómetro. Así, cuando estaba vacío, el pistón permanecía en el fondo y la membrana se desplegaba por la parte inferior. A medida que el depósito se llenaba, el pistón subía y la membrana se iba

replegando hasta llegar a la posición intermedia en la cual adoptaba su forma más reducida. Si el depósito continuaba llenándose de gas, entonces el pistón subía y la membrana se desplegaba a lo largo de las paredes de la mitad superior del depósito (Association, 1960, 123).

que habían de realizar la Maquinista Terrestre y Marítima, la M.A.N y la Catalana de Gas, comenzaron a buen ritmo hasta que el inicio de la guerra civil comportó un cúmulo de dificultades que retrasaron su conclusión. Así por ejemplo, en agosto de 1936 no se pudieron



Esquema de funcionamiento del gasómetro Wiggins (Association, 1960: 123).

Este gasómetro presentaba las mismas ventajas que los otros de tipo seco pero además requería menos mantenimiento debido a que se había suprimido la circulación del alquitrán o la grasa. Las posibles fugas que se podían presentar en esta junta móvil eran de fácil reparación, de manera que este gasómetro también tenía una duración garantizada no inferior a 10 años.

3.5.6. El gasómetro MAN de Sant Martí de Provençals

En 1932 Catalana de Gas comenzó sus contactos con el agente de la empresa Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg A.G (M.A.N.) en Barcelona con vistas a construir un gasómetro seco en la fábrica de Sant Martí, pero no fue hasta mediados de 1935 que el Ayuntamiento de Barcelona concedió el permiso. Las obras,

enviar desde la representación de M.A.N. en Bilbao hacia Barcelona unos planos relativos a los ascensores y se tuvieron que reclamar directamente a Alemania. Tampoco llegaron los resultados de las muestras de alquitrán enviadas para su análisis. Además, a partir de 1937, hubo que añadir una dificultad adicional consistente en la subida de precios de algunos materiales. Todo este cúmulo de circunstancias retrasó la conclusión del gasómetro.

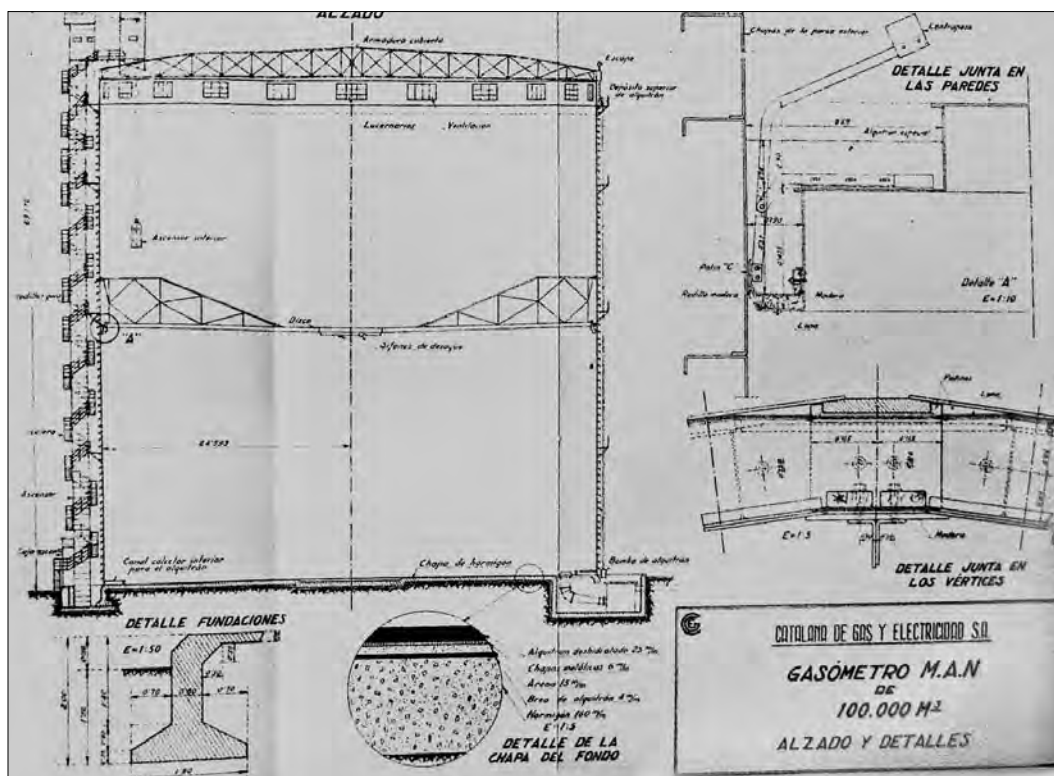
Después de la guerra, la construcción metálica del gasómetro estaba prácticamente lista, pero faltaban aún algunas cuestiones que implicaban a las tres empresas. Por ello la M.A.N. envió a Barcelona un montador de su empresa con el material necesario para concluir el trabajo y la Maquinista y Catalana reactivaron la ejecución. Finalmente, el 16 de enero de 1940 el gasómetro M.A.N. de Barcelona empezó a funcionar

3. El proceso de producción de gas de hulla

Se trataba de un gasómetro seco formado por un recipiente prismático cuya planta era un polígono de 22 lados en el que se desplazaba verticalmente un disco metálico equipado por una junta hermética. La parte superior del disco estaba en contacto con la atmósfera. Las paredes eran de chapa doblada hacia el exterior y remachada. Unos montantes, llamados pies derechos, formados por vigas arriostradas situados en los vértices del polígono sujetaban el

conjunto. El disco estaba constituido por una estructura metálica indeformable con el suelo de chapa remachada y tenía unos rodillos colocados radialmente sobre los montantes o pies.

Para conseguir la estanqueidad entre el disco y la pared interior del prisma había una taza o canal lleno de alquitrán, un lado del cual ajustaba contra la pared mediante un fleje metálico con palancas



Planos del gasómetro M.A.N. de la Catalana (AHFGF, Caja 2.077).

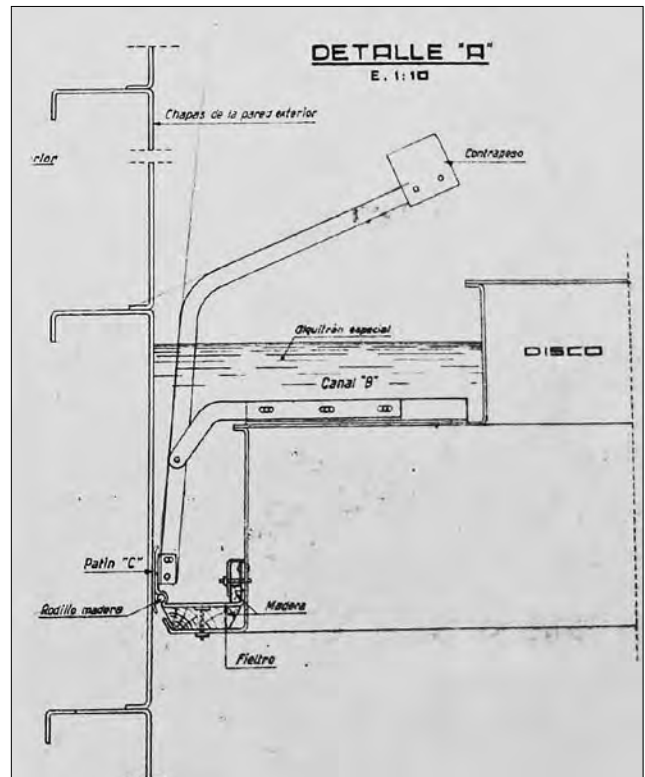
y contrapesos mientras que el otro lado estaba unido al disco por medio de una tela de lona constituyendo una unión elástica. La taza se llenaba completamente de alquitrán, el cual se escurría a lo largo de las paredes hasta el fondo del gasómetro donde se recogía en un depósito y se elevaba mediante unas autobombas a la parte superior para dejarlo caer por las paredes para reponer el que se había perdido con el desplazamiento de la taza. También había, en la parte superior, un depósito de reserva para garantizar la existencia de alquitrán en casos de corte de suministro eléctrico. En la parte superior del gasómetro había unas ventanas de cristal que permitían una iluminación natural y una cubierta para proteger el disco en días de lluvia.

Las partes principales de este gasómetro MAN eran las siguientes: 1) cimientos y fondo, 2) paredes, 3) disco, 4) guías, 5) armaduras, 6) cubierta, 7) taza de disco, 8) taza del fondo, 9) depósito de alquitrán y bombas elevadoras, 10) depósito de alquitrán de la parte superior, 11) entrada y salida del gas, 12) ascensores, 13) escalera y 14) desagües.

Los cimientos eran de hormigón armado con el que se formaba un macizo poligonal de 50 cm de ancho y una pared de 1,90 m mayoritariamente soterrada excepto 10 cm. Estos cimientos circundaban una placa de hormigón armado de 16 cm de espesor sobre la que descansaba el fondo del gasómetro. Este estaba formado por unas planchas de hierro de 6 mm de espesor remachadas sobre la placa de hormigón. Estas placas se recubrían entre sí 36 mm y entre ambas había una capa de yute de 30 mm. Entre la plancha y la placa de hormigón se dispuso una

capa de brea de alquitrán y otra de arena seca.

Las paredes del gasómetro estaban formadas por unos montantes llamados pies derechos de vigas de hierro en forma de I empotrados en los cimientos de hormigón. En el ala interior de esta viga se remacharon las chapas de hierro que formaban los lados del prisma



Detalle de la junta del gasómetro M.A.N de Sant Martí (AHFGNF, Caja 2.077).

y sobre ella discurrían los rodillos del disco. Las chapas más elevadas alojaban 4 tubos de escape que, como si se tratase de chimeneas, servían para permitir el escape del gas cuando

3. El proceso de producción de gas de hulla

el disco estuviese en la posición más elevada.

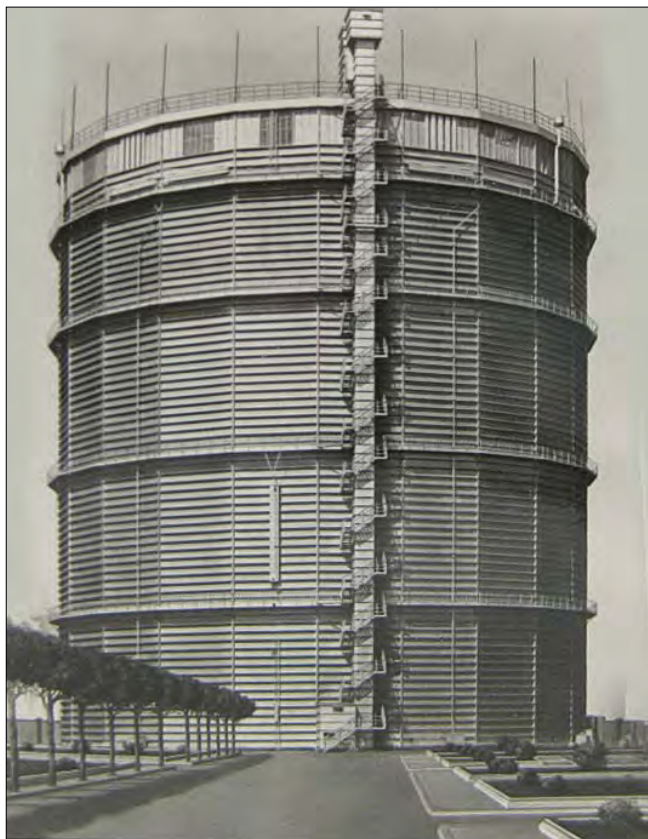
El disco estaba formado por una superficie de chapa metálica de forma poligonal reforzada con unas armaduras arriostradas horizontal y verticalmente. La presión a la que estaba sometido el gas, de 120 a 130 mm cda, dependía básicamente de su peso pero podía aumentarse colocando sobre el disco bloques de cemento. Sobre cada uno de los vértices del polígono discurrían los rodillos de guía del disco que estaban en la parte inferior. Las armaduras estaban formadas por una retícula triangular primero y rectangular después alcanzando su altura máxima hacia el lado de las paredes del gasómetro.

La cubierta del gasómetro estaba formada por otras armaduras que partían de los vértices del prisma y se unían en un disco central en forma de corona. Estas armaduras estaban cubiertas parcialmente solamente unos 4,45 m dando lugar a un pasillo exterior en el que se había dispuesto una barandilla de protección.

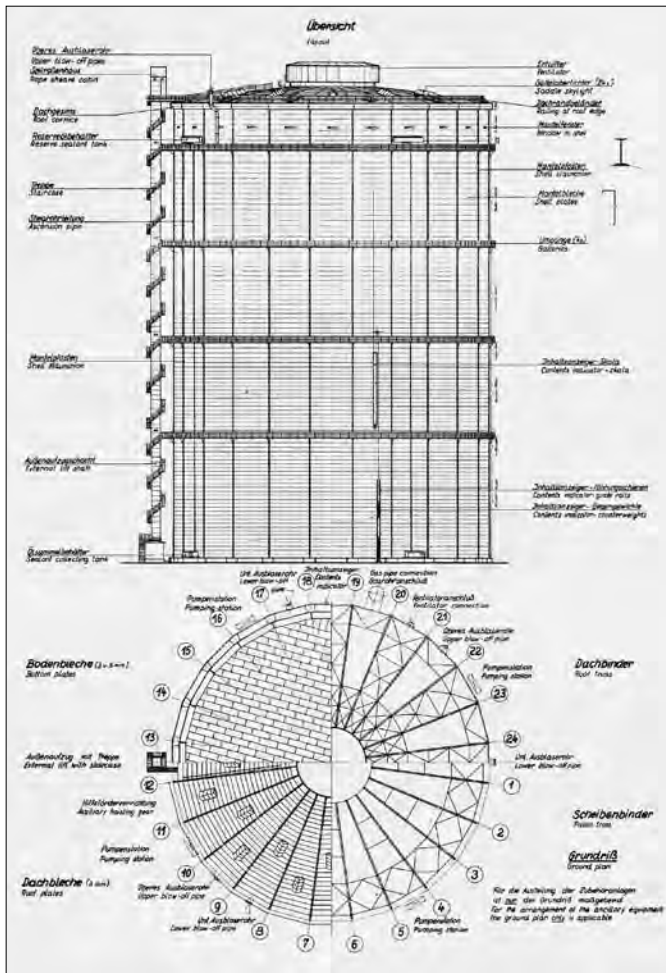
Para mantener la hermeticidad se instaló la taza de disco que estaba hecha de chapa de 4mm de grueso formando un canal. Para evitar que el disco se desnivelase si el alquitrán se desplazaba hacia algún lado, se dividió este canal en 12 compartimentos independientes mediante unos tabiques de chapa. Para asegurar el contacto de la chapa con la pared interior se dispusieron 16 contrapesos que con una palanca ejercían presión sobre la chapa. Este esfuerzo se transmitía elásticamente mediante una junta de lona tensada por un lado a una madera a la que estaba enganchada y por el otro a unas traviesas y tornillos que la unían a la chapa del canal.

En el fondo del gasómetro se situó otra taza con forma de corona circular para recoger

el alquitrán que resbalaba por las paredes interiores como si se tratase de un colector el cual conducía el alquitrán a un depósito. El gasómetro MAN de Sant Martí tenía 6 depósitos de este tipo situados en la periferia, equipados cada uno con una caseta para las bombas elevadoras, los cuales tenían 4 compartimentos para decantar el agua que pudiese llevar



Gasómetro M.A.N. de Catalana
(AHFGNF, caja 2.077).



Plano de diseño del gasómetro M.A.N. de Sant Martí (AHFGNF, 2.077).

consigo el alquitrán. Estos depósitos estaban calentados por unos tubos de calefacción por agua caliente para evitar que en invierno se endureciese el alquitrán.

También disponía este gasómetro de 12 depósitos superiores de reserva de alquitrán divididos en dos partes de manera que una hacía de depósito y la otra de embudo por la que resbalaba el alquitrán por la pared interior hacia la taza de disco.

El gas entraba y salía por unos tubos situados en la parte inferior. Para facilitar las operaciones de mantenimiento y reparación se instalaron dos ascensores, uno exterior sin paradas intermedias y otro interior compuesto de una cabina semejante a una jaula que facilitaba la inspección incluso en funcionamiento. También había una escalera para subir a la cubierta que se desplegaba a lo largo de la caja del ascensor exterior. Mediante la escalera se podía acceder a los diferentes pasillos ubicados a diferentes alturas de la periferia del gasómetro.

Este gasómetro estuvo en funcionamiento hasta que en las poblaciones colindantes el gas manufacturado se cambió por gas natural. Unos años antes en 1954 comenzó a presentar problemas principalmente porque la lona de la junta comenzaba a deteriorarse procediéndose a una cuidadosa reparación. En 1992, cuando se procedió a derrocar la fábrica de San Martí, el gasómetro MAN estaba aún de pie y pudo ser visitado en la ceremonia oficial de cierre.

4. Otro tipo de gases combustibles

La producción de gas de hulla fue el proceso más importante de obtención de gas durante el siglo XIX. Pero el encarecimiento de la hulla y de todos los carbones apropiados para este proceso obligó a que se buscasen nuevas alternativas. Así surgieron otros gases que, aunque no tenían las propiedades del anterior, también eran útiles para iluminar y producir calor. Se trataba del gas de la madera, del gas de aceite, del gas de agua y del gas de aire. Todos estos gases se componían principalmente de diferentes compuestos del carbono sea con oxígeno o con hidrógeno. Se obtenían como resultado de la destilación al interior de retortas, de la combustión incompleta de diferentes tipos de carbones, o de la descomposición de vapor de agua o de anhídrido carbónico. Téngase en cuenta que los procesos de destilación, combustión incompleta o descomposición podían tener lugar al mismo tiempo dando lugar a una mezcla variada y produciendo unos gases de poder calorífico muy diverso en función de la proporción de hidrocarburos e hidrógeno.

Entre los gases obtenidos por destilación en retortas específicas hay que citar el gas de madera y el gas de aceite. Estos solo fueron utilizados donde escaseaba el carbón y además la madera o los aceites tenían unos precios asequibles.

Entre los gases provenientes de la combustión incompleta citaremos el gas de gasógenos o gas de aire conocido también como gas Siemens que contenía un porcentaje elevado de nitrógeno procedente del aire y un poder calorífico muy bajo, entre 800 y 1000 kcal/m³. Es decir, unas cinco veces menor que el del gas de hulla.

Si al mismo tiempo que el aire se introducía vapor de agua por debajo de la parrilla del gasógeno se obtenía una mezcla rica en hidrógeno y monóxido de carbono con un poder calorífico algo más elevado, entre 1.300 y 1.400 kcal/m³, que fue conocida como gas mixto o gas pobre. Obsérvese que en esta forma de obtención de gas tenían lugar dos procesos a la vez: la combustión incompleta y la descomposición del vapor. En algunos lugares, el gas así obtenido se conoció con el nombre propio de los inventores del gasógeno que lo producía. Así se hablaba de gas Lencauchez, de gas Dowson, de gas Mond o de gas Arbós.

En cambio, si la proporción de vapor era más elevada y la producción intermitente, con una fase de insuflada de aire para poner incandescente el carbón, interrumpida por otra de inyección de vapor, el gas producido no contenía casi materias inertes y tenía un poder calorífico de unas 2.700 kcal/m³. Se trataba del conocido gas de agua o gas azul (Demenge, 1908: 71).



Felice Fontana (1730-1805)
descubridor del gas de agua
(www.imss.fi.it/news/ifelice.html).

Cuadro 4.1. Otros tipos de gases combustibles

	Proceso de obtención	Denominaciones común	Poder calorífico (Kcal/m³)	Composición
Gas de madera	Destilación en retortas	Gas de leña	Madera eucalipto 3.600-3.800 (Masse, 1924:275)	Madera de Chopo CO 25,62%, H ₂ 31,84%, CH ₄ 35,30%, C _n H _m 7,42%, (Vincent: 1873: 149)
Gas de aceite	Destilación en retortas	Gas de aceites, de alquitrán, de grasas, etc	8.000 a 10.000 (Grebel, 1924: 21)	CO ₂ 0,65%, O ₂ 0,24 %, C ₂ H ₄ , 44,83 %, C ₂ H ₆ , 17,3%, H ₂ 3,97.%, CH ₄ , 31,88% ,N ₂ , 1,13% (Masse, 1924: 273)
Gas de aire	Combustión incompleta	Gas de gasógenos Gas Siemens	800 a 1.000	27% de CO diluido en N ₂ ; 0,65% de CO ₂ (Marchis, 1908: 6)
Gas mixto	Combustión incompleta	Gas pobre Gas Lencauchez Gas Dowson Gas Mond Gas Arbós	1.300 a 1.400	Mezcla de gas de agua y de gas de aire. CO ₂ , CO y H ₂ en proporción variable.
Gas de agua	Producción intermitente por combustión incompleta y descomposición de vapor.	Gas azul Gas de agua azul	2.700 (Bosko, 1957:186)	H ₂ 51%, CO, 39%, CO ₂ , 4%, O ₂ , 1%. N ₂ , 5% (Masse, 1923: 227)
Gas de agua carburado	Gas de agua con inyección de benzol o aceites	Gas ciudad	4.500 (Bosko, 1923: 189) 5.000 a 6.000 (Grebel, 1924: 21)	H ₂ , 38%, CH ₄ , 11%, CO, 33%, C _n H _m , 7%, CO ₂ , 5%, N ₂ , 6%. Bosko, 1923: 189)

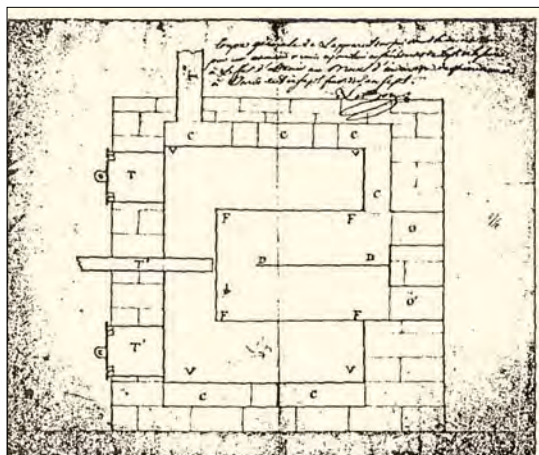
En muchas ocasiones el poder calorífico del gas de agua no era suficiente si se deseaba utilizarlo como sustitutivo del gas de hulla y por ello se le añadía, benzol, aceites o esquistos bituminosos. El gas obtenido se conoció como gas de agua carburado y compitió en algunos lugares con el gas de hulla o se mezcló con él.

4.1. El gas de madera

Philippe Lebon construyó en el patio o en la cocina de su casa natal en Brachay un aparato de ladrillos, lo llenó de madera y lo cerró herméticamente. Encendió este artilugio

que era similar a un horno y el humo o gas que salió de él lo hizo pasar a través de agua para quitarle parte del alquitrán y del ácido piroleñoso. Este gas purificado le proporcionó una luz clara que evidenciaba que el descubrimiento resultaba útil no solo para calentar sino también para iluminar.

En 1798, Lebon realizó un nuevo aparato, al que llamó termolámpara, que le permitió utilizar el gas como combustible de calor y de luz y en consecuencia abrir el camino a la aplicación industrial del gas. En otra patente de 1801 hizo público un esquema de la termolámpara.



Esquema de la termolámpara de Lebon
(Veillerette, 1987: 157).

En este dibujo de su puño y letra, Lebon denomina cada uno de los elementos que componen la termolámpara: vasija (V), horno (F), chimenea (C), diafragma (D), apertura (O). A medida que describe estos elementos Lebon va explicando su funcionamiento. Así,

denomina a la retorta, vasija y a las cabezas de retorta, finales de tubo (T) por los que se puede extraer el gas. Según Gaudry queda claro que el aparato de Lebon era un horno de dos retortas metálicas con una envoltura formada por un macizo espeso de materiales refractarios que servían para concentrar el calor. Lebon se avanzó a su tiempo inventando mecanismos que serían utilizados más tarde como la conducción en zig-zag que permitía aprovechar mejor el calor. En consecuencia, la genialidad de Lebon no estaba solamente en sus inventos sino también en que fue precursor de otros posteriores (Veillerette, 1987: 163).

La termolámpara de Lebon fue abandonada poco tiempo después debido a que el gas que producía tenía un poder lumínico muy débil. Sin embargo, en 1869 Max Josef von Pettenkofer (1818-1901), químico e higienista alemán, profesor de la facultad de medicina de Munich, retomó los experimentos relativos a la fabricación de gas de madera. Se percató de que para la temperatura habitual de carbonización de la madera los gases que se producían no eran apropiados para la iluminación ya que no eran ricos en hidrocarburos. Sin embargo si después de la carbonización se elevaba la temperatura hasta que el carbón adquiría un color rojo cereza, entonces el gas que se producía era rico en hidrocarburos de manera que después de purificado resultaba tan bueno como el gas de hulla para el alumbrado.

Los experimentos de Pettenkofer sobre el recalentamiento del residuo de la carbonización fueron aprovechados por Riedinger para erigir una industria del gas de madera.

La materia prima utilizada en este proceso no ejercía apenas influencia sobre el rendimiento del resultado final. En cambio, el estado higrométrico de la madera repercutía conside-

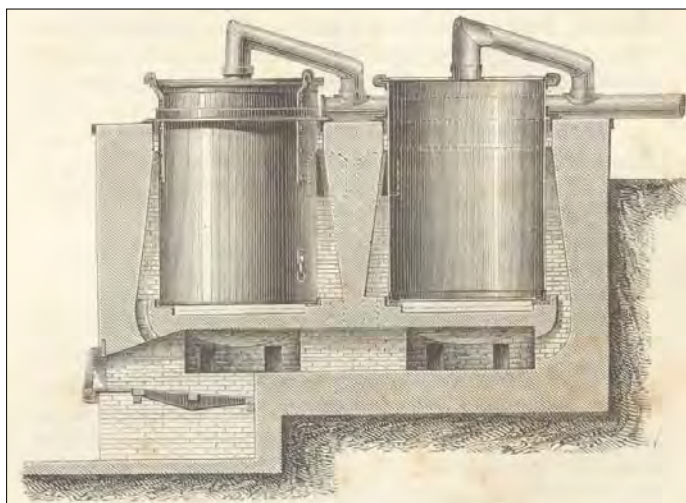
rablemente en la cantidad de gas producido ya que el vapor de agua contenido en ella pasaba sobre el carbón incandescente produciendo monóxido de carbono e hidrógeno que reducían considerablemente el poder lumínico del gas. Por eso se aconsejaba desecar la madera antes de utilizarla y evitar la excesiva exposición al aire libre para que no adquiriera de nuevo agua. La desecación se conseguía a base de recuperar el calor perdido del horno de destilación conduciéndolo por el suelo hasta la cámara donde se almacenaba la madera.

Las retortas destinadas para producir el gas de madera estaban dispuestas de forma que los productos volátiles podían ser sometidos a elevadas temperaturas durante un cierto periodo, por ello las primeras estaban divididas en compartimentos por medio de unos tabiques que dividían el espacio de manera que el del medio se reservaba para la madera. No obstante, Riedinger tuvo que renunciar a estas retortas por los inconvenientes que presentaban y optó por las ordinarias de fundición pero aumentando su volumen para permitir una carga de madera de 50 kg. Por ello tenían una altura de 0,35, una anchura de 0,60 y unos 2,70 m de longitud. Con estas dimensiones podían producir alrededor de 240 m³ de gas cada dos horas. El horno, aun siendo similar al de la hulla, debía tener una mayor superficie de rejilla. Cada operación duraba aproximadamente una hora y media.

A la salida de las retortas, los gases producidos se conducían a un barrilete, cuya sección era de forma de U, mediante unos tubos que se sumergían en él y donde se condensaba el alquitrán y el ácido piroleñoso. Después, el gas era conducido al refrigerante y a unos aparatos limpiadores y depuradores similares a los utilizados en el gas de hulla. Los depuradores

eran también de cal viva mezclada con materiales ligeros capaces de dividirla, como la corteza, el musgo o las virutas de madera dispuestos en capas de 5 a 6 metros de espesor. La cal retenía tanto el anhídrido carbónico como el ácido acético y algunos fenoles. La cantidad de cal necesaria era considerable: unos 100 kg por cada 10 m³ de gas en una rejilla de 10 m² cosa que resultaba un inconveniente para la producción de gas.

El gas de madera así obtenido se componía de monóxido de carbono, de hidrógeno, de metano y de algunos hidrocarburos pesados.



Horno doble para destilación de la madera (Vincent, 1873: 19).

Se trataba de un gas más denso debido a que contenía mayor cantidad de CO. Por ello los quemadores que se utilizaban para el gas de hulla no servían para el gas de madera.

Una de las ventajas del gas de madera es que no

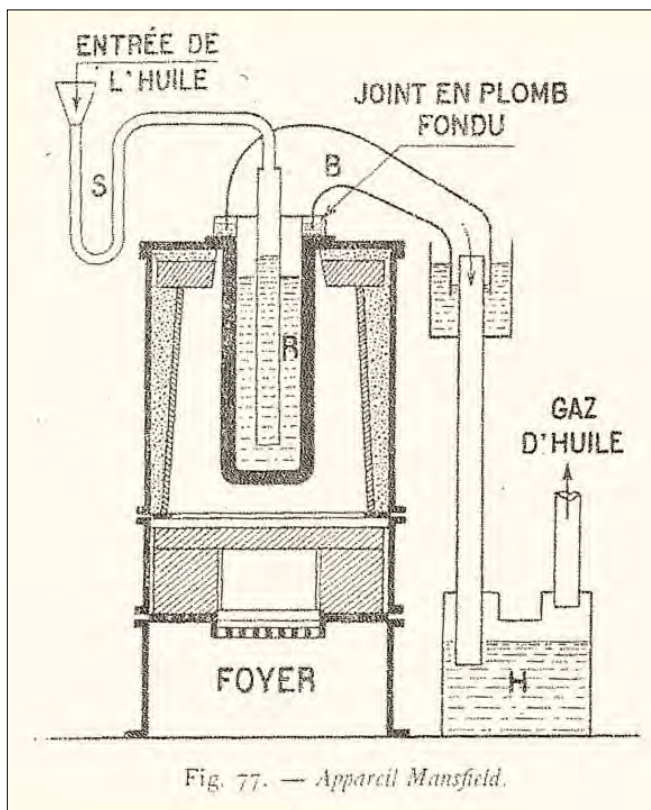
contenía productos sulfurosos, de manera que no ennegrecía las pinturas de base de plomo como sucedía con el procedente de la hulla si estaba poco depurado. También resultaba más ventajoso el gas de madera mientras que esta materia fuese menos cara que la hulla (Vincent, 1873: 145-151). Durante la primera guerra mundial muchas fábricas de gas tuvieron que destilar madera en sustitución del carbón. Utilizando la madera de unos eucaliptos blancos de la ciudad de Annaba (antes conocida como Bône) en Argelia, con 130 kg obtuvieron, en 4 horas de destilación en retortas, unos 30 m³ de gas de un poder calorífico de unas 3700 kcal/m³ (Masse, 1924: 275).

4.2. El gas de aceite

El alumbrado con gas de aceite es muy antiguo, solo hay que acordarse de las velas y las lámparas de aceite. Todas ellas eran en cierta manera aparatos que a base de quemar aceite o grasas producían iluminación. Sin embargo, solo se puede hablar propiamente de uso de gas de aceite cuando en las antiguas lámparas de aceites pesados se sustituyeron estos por otros más volátiles y la mecha se cambió por un quemador. Solo entonces fue cuando de hecho estas lámparas se convirtieron en aparatos de gas. La más antigua fue la ideada por Lüdersdorf y que más tarde construyeron Lilienfeld y Lutscher (Küchler, 1879: 7).

A pesar de estos primitivos intentos, la primera patente relativa a la obtención de gas a partir de aceite es de 1815 y fue otorgada a John Taylor. El proceso consistía en dejar resbalar aceite sobre un trozo de coque incandescente contenido en una retorta. Con ello se obtenían vapores y gas. Los vapores se licuaban en un

condensador enfriado por el propio aceite. Posteriormente Dvorkovitz utilizó retortas inclinadas dispuestas en zigzag en las que dejaba resbalar el aceite de forma que mientras que las primeras estaban a 300°C las últimas alcanzaban los 1.000°C. Mansfield finalmente operó con retortas verticales de fundición

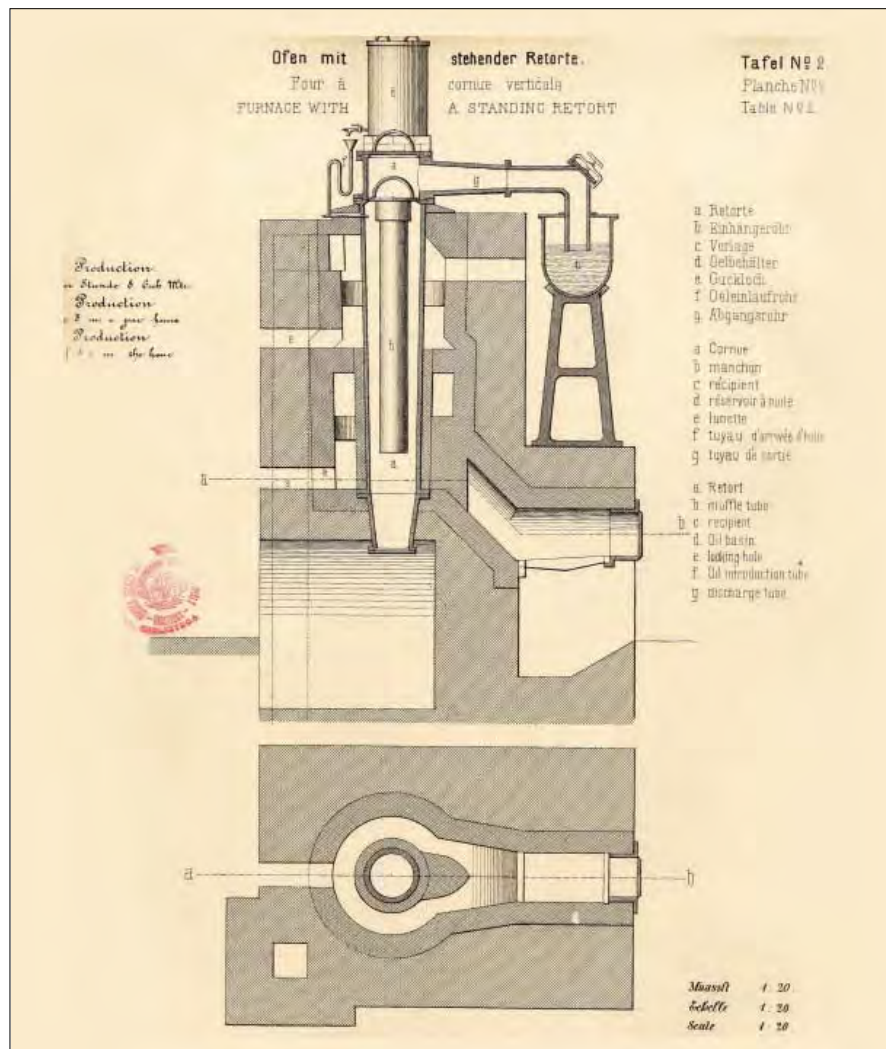


Aparato Mansfield para producción de gas de aceite
(Masse, 1929: 271).

alimentadas con un sifón S como indica la figura adjunta (Masse, 1924: 271).

Como consecuencia de estos avances, algunas ciudades inglesas como Liverpool y Hull introdujeron el gas de aceite en el alumbrado

y posteriormente se difundió su aplicación en los Estados Unidos. En Alemania, el gas de aceite lo introdujo Riedinger y Hiesel aprovechando los esquistos bituminosos de la zona meridional del país. No obstante esta



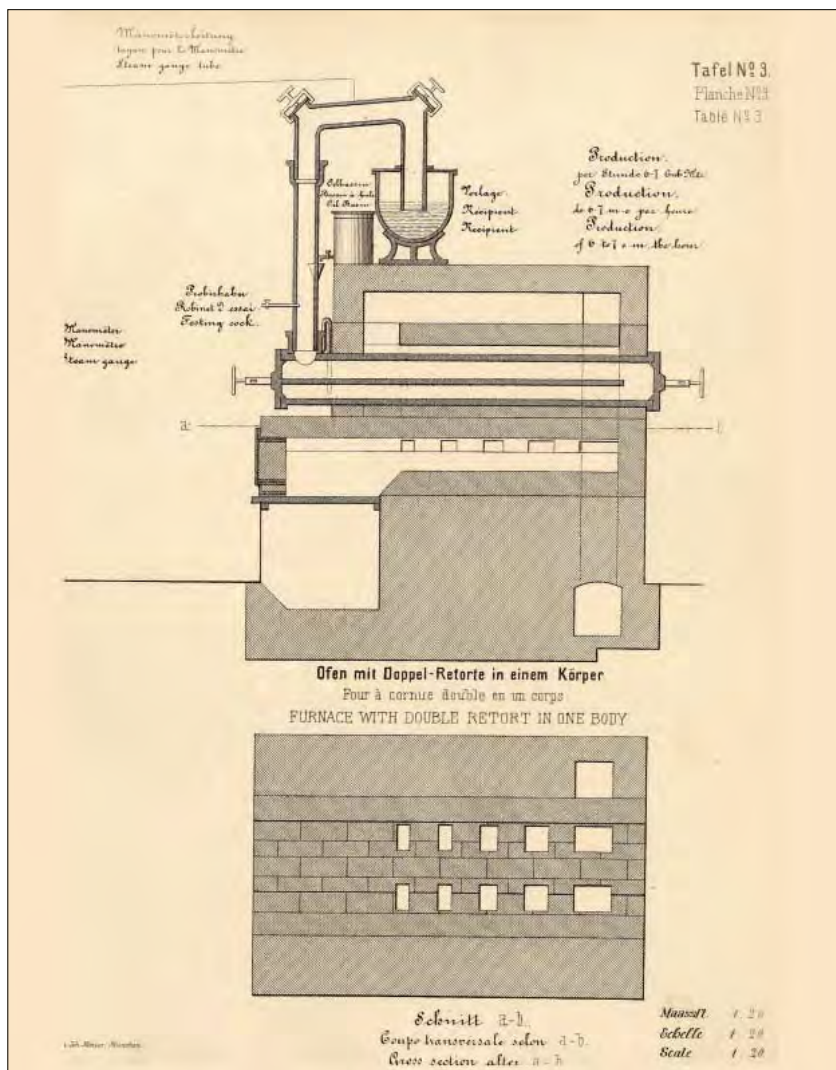
Retorta vertical (Küchler, 1879: 18).

4. Otro tipo de gases combustibles

manera de obtener gas no se difundió hasta el último tercio del siglo XIX en que se contaban en Europa más de 1.000 fábricas en ciudades pequeñas y medianas que lo utilizaban para el

alumbrado (Küchler, 1879: 10).

Para obtener el gas a partir del aceite se utilizaban principalmente retortas verticales



Retorta transversal (Küchler, 1879: 24).

o horizontales (llamadas transversales) de sección circular, oval o en forma de D y fabricadas de fundición. Tenían una longitud de unos 3 m y estaban abiertas por los dos extremos para facilitar la limpieza.

También se solían utilizar las retortas transversales como las que muestra la figura siguiente y en las que se disponían dos compartimentos para facilitar la producción del gas. Con 100 kg de aceite americano calentado a 1.000°C se podía conseguir aproximadamente unos 90 m³ de gas de la composición en volumen siguiente: 0,65% de CO₂, 0,24 % de O₂, 44,83 % de C₂H₄, 17,30 % de C₂H₆, 3,97.% de H₂, 31,88% de CH₄ y 1,13% de N₂ (Masse, 1924: 273).

La temperatura en el interior de la retorta no podía superar los 1.000°C. El aceite entraba por el tubo de llegada a través de una válvula cónica procedente de un depósito circular de chapa que tenía que ser tanto mayor cuanto mayor fuese el consumo de las retortas. Algunos aceites a temperaturas bajas formaban masas espesas que taponaban los conductos, por eso en algunas ocasiones se calentaban antes de la producción. Hay que tener presente que tan malo era que la retorta se calentase demasiado como que no se llegase a la temperatura requerida. En el primer caso se decía que el gas se consumía en la retorta, mientras que en el segundo, solo se producían aceites volátiles y los aceites pesados se convertían en alquitrán (Küchler, 1879: 22).

Las retortas transversales solían tener dos compartimentos de manera que en el de arriba se producía gas de aceite mientras que en el de abajo había carbón o coque y servía para producir gas mediante el agua. El funcionamiento de una retorta de este tipo comenzaba cuando alcanzaba el color rojo cereza, entonces

empezaba la llegada del aceite que formaba en la cámara superior de la retorta vapores y gas. Al mismo tiempo entraba agua en la parte inferior, la cual se vaporiza a razón de 100 gotas por minuto de manera que el oxígeno era absorbido por el carbón mientras que el hidrógeno pasaba por la parte inferior y se mezclaba con el gas de aceite. La incorporación de hidrógeno mejoraba el gas de aceite ya que le confería mayor poder lumínico.

Uno de los inconvenientes de este proceso fue que el oxígeno resultante perjudicaba el material de fundición de las retortas ya que en uno o dos meses se agrietaban profundamente y tenían que cambiarse. Quizás por eso Riedinger utilizó retortas de tierra refractaria para la descomposición del agua y las dispuso de forma separada a las de producción de gas de aceite que eran de fundición. Sin embargo, el rápido deterioro de las retortas condujo a que se suprimiese la introducción de agua y se inyectara aceite también en las retortas inferiores sin que eso afectase considerablemente al poder lumínico del gas resultante. Las retortas dobles de gas de aceite formadas por dos cuerpos de retorta con una cabeza común resultaron ser las más ventajosas.

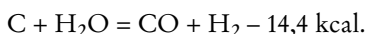
El gas resultante de este proceso también requería condensación en un barrilete, limpieza en scrubbers y depuración química con cal o materia Laming como el gas de hulla.

4.3. El gas de agua

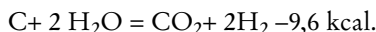
En 1780, el naturalista italiano Felice Fontana (1730-1805) observó que el agua que pasaba sobre carbón incandescente se descomponía dando lugar a un gas inflamable. Más tarde Cavendish mostró que este gas, que habían

denominado gas al agua, estaba compuesto de hidrógeno y de monóxido de carbono.

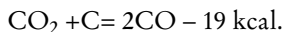
Lo que sucede es que el vapor de agua actuando sobre el carbón al rojo, calentado a una temperatura de 1.000 °C, se descompone en sus dos elementos hidrógeno y oxígeno. El hidrógeno se convierte en un gas libre mientras que el oxígeno reacciona con el carbono formándose principalmente monóxido de carbono y, en menor cantidad, anhídrido carbónico.



La reacción es endotérmica por lo que enfría el medio que la rodea favoreciéndose una segunda reacción



Además, el anhídrido carbónico reacciona con el carbón y genera más óxido de carbono.



Así, al cabo de poco tiempo hay en contacto con el, carbono los cuatro elementos siguientes: hidrogeno, monóxido de carbono, anhídrido carbónico y vapor de agua.

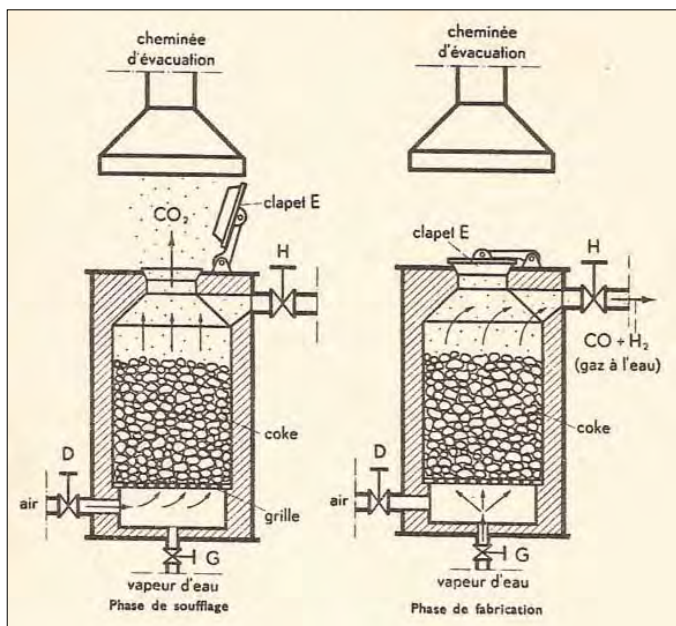
Los trabajos de Henry Le Chatelier (1850-1936) permitieron constatar que elevando la temperatura y bajando la presión se favorecía la descomposición del vapor de agua y se reducía la producción de anhídrido carbónico (Masse, 1923: 227). Ese gas obtenido de esa manera contenía la composición siguiente: 51% de H₂, 39% de CO, 4% de CO₂, 1% d'O₂, y 5% N₂. Quemaba dando una llama muy caliente y de un color azul muy característico por lo que se le conocía también como gas azul o gas de agua azul.

La forma habitual de conseguir este gas de agua era mediante gasógenos que utilizaban coque. Se trataba de unas cámaras cilíndricas

de ladrillo refractario que disponían de cuatro entradas tubulares que podían ser accionadas por sus respectivas válvulas o compuertas. Dos entradas estaban en la parte inferior debajo de la parrilla que contenía el coque y las otras dos, en la parte superior y servían para evacuar los gases producidos. En la producción de gas de agua se siguieron dos fases que se repetían de manera cíclica. La primera era la fase de insuflada y la segunda, la de fabricación. El gráfico siguiente nos muestra el gasógeno en cada una de las dos fases antes citadas.

La fase de insuflada tenía una duración de uno a dos minutos y empezaba en el momento en que el coque alcanzaba la temperatura de incandescencia y era atravesado por una corriente de aire que entraba por D. Este aire reaccionaba con el carbón y producía anhídrido carbónico (CO₂), nitrógeno y en menor cantidad monóxido de carbono (CO). Estos gases, resultado de la combustión, eran evacuados por la compuerta E situada en la parte superior del gasógeno. Si en esta reacción se limitaba el aire de entrada, el gas producido resultaba tener menor contenido en anhídrido carbónico y más monóxido. Se le conocía como gas de aire.

Pasados estos dos primeros minutos empezaba la fase de fabricación del gas de agua. Para ello se tenía que cerrar la válvula D y la compuerta E y abrir las válvulas G y H. Por G entraba vapor de agua que atravesaba un coque incandescente que descomponía el agua en sus componentes: hidrógeno y oxígeno. La mezcla resultante contenía hidrógeno, monóxido de carbono y en menor cantidad nitrógeno y anhídrido carbónico. Como la reacción es endotérmica la temperatura descendía de manera que pasados unos 6 minutos el coque se había enfriado hasta 900 °C y se tenía que parar la fase de fabricación para repetir la fase de insuflada.



Fabricación de gas de agua (Bosko, 1957: 186).

Cuando el coque estaba completamente gasificado solo quedaban en los gasógenos cenizas y escoria de hierro, entonces se tenía que volver a cargar el gasógeno. El gas obtenido se depuraba eliminando el alquitrán y los polvos que podía llevar en suspensión. Al no contener hidrocarburos, el gas de agua resultante era inodoro, pero muy tóxico, por llevar en gran cantidad monóxido de carbono (Bosko, 1957: 185).

El gas de agua presentaba otro inconveniente y era su bajo poder calorífico. No obstante esto se pudo solucionar haciéndolo pasar a través de un carburador. En este aparato, en el momento en que pasaba el gas de agua se lanzaba un chorro de aceite, gasoil o fuel oil sobre los ladrillos refractarios produciéndose gas de aceite que se mezclaba con el gas de agua dando lugar a lo que se denominó gas de agua carburado. Este nuevo

gas tenía un comportamiento similar al gas de hulla y un poder calorífico muy alto (aproximadamente 4500 kcal/m³). Estaba compuesto de H₂ (38%) Metano (11%) CO (33%) Hidrocarburos (Cn Hm) (7%) , CO₂ (5%) y N₂ (6%) (Bosko, 1923: 189).

Se sabe que hubo intentos de utilizar el gas de agua en Dublín en 1830 y en Narbona en 1855 pero fueron intentos fallidos. Sin embargo donde tuvo una gran difusión fue en los Estados Unidos gracias a los trabajos que realizó Thaddeus S.C. Lowe (1831-1913) en 1873 al desarrollar y patentar un método para obtener este tipo de gas. La implantación en ese país fue tan rápida que a finales del siglo XIX el gas de agua representaba las 2/3 partes del consumo total de gas. Hacia 1895 se contaban en Estados Unidos unas 350 instalaciones de manera que se utilizaba en ciudades como Nueva York, Brooklyn, Boston, Filadelfia, Chicago y San Francisco (Schilling, 1895: 39).

En Europa, en cambio, su toxicidad y su falta de olor fueron los argumentos utilizados por los defensores del gas de hulla para que se impidiese la distribución del gas azul incluso mezclado con otros gases. Esta prohibición no se levantó hasta 1913, y solo en la ciudad de París, con la condición de que la cantidad de monóxido de carbono de la mezcla no superase el 11%. Posteriormente, en 1919, se permitió ampliar este porcentaje hasta el 15% con la condición que este gas de agua estuviese carburado con aceites de petróleo o esquistos bituminosos y fuese mezclado con gas de hulla. De esta manera la mezcla continuaba manteniendo el olor característico del gas de carbón ordinario (Masse, 1923: 228).

En América, el éxito del gas de agua también estuvo ligado a la carburación, ya que en ese país los aceites eran baratos y por eso en las fábricas de gas de agua se instalaba mecanismos para

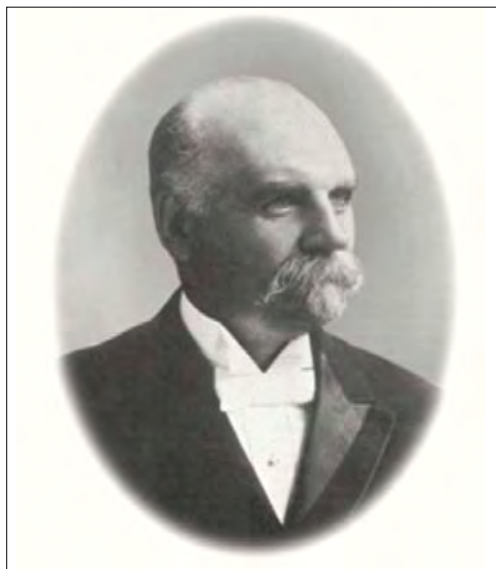
enriquecer el gas de agua con aceite o petróleo muy volátil de esta manera el gas resultante que era carburado resultaba útil tanto para la calefacción como para el alumbrado.

Entre los gasógenos para producir gas de agua se podía distinguir dos categorías. La primera categoría consistía en recuperar el calor del proceso para calentar tanto el aire de la fase de soplado como el vapor de inyección. El prototipo fue el gasógeno de Tessie de Mottay que se utilizaban para producir gas de agua sin carburar aunque también podía ser carburado posteriormente. El modelo alemán de gasógenos Dellwik-Fleischer fue uno de los seguidores de esta categoría.

La segunda categoría consistía en aprovechar el calor para descomponer los aceites de carburación y producir directamente gas de agua carburado y el tipo Lowe fue el modelo a seguir. También en esta línea estaban los modelos angloamericanos Humphrey y Glasgow. En otros modelos ingleses, como el Tully o el holandés Rincker y Wolter, se descomponía el aceite directamente proyectándolo sobre el coque incandescente. Así se obtenía un gas de agua carburado que daba una llama de gran poder lumínico y era comparable a la del gas de hulla. También hubo otros modelos que requerían regeneradores de calor como el alemán Krammers y Aats donde se producía una combustión completa o el austriaco Strache de combustión incompleta (Grebel, 1920: 161-164).

4.3.1. Proceso de Lowe para fabricar gas de agua

El aparato inventado por Lowe se componía de un generador (A), de un recalentador (B) y de un lavador o scrubber (C) compuesto de dos columnas de lavado D y E donde el gas de agua se depuraba.



Thaddeus S.C. Lowe (1831-1913)
(<http://bobsicebaxrepair.com/history.html>).

El generador estaba lleno de coque o en su lugar de antracita. Este carbón se introducía por la abertura de la parte superior (a) y se ponía incandescente mediante la insuflada de aire operada por el tubo (c) con la ayuda del ventilador F. En un principio los gases de la combustión se dirigían hacia el generador por el tubo de comunicación (b) y salían por la válvula (d). Si la temperatura era demasiado elevada y la mezcla de gases contenía demasiado anhídrido carbónico y nitrógeno se abría la válvula (e) que comunicaba con el ventilador facilitando que el gas del generador se quemase. Al cabo de unos 10 ó 15 minutos el coque que había en el generador estaba incandescente y el recalentador también estaba tan caliente que incluso las piedras refractarias visibles por la válvula (d) se veían de un color rojo claro. En este punto las válvulas c y d se cerraban y se abrían las g y h. Entonces entraba

por g, bajo el generador, vapor de agua y nafta procedentes del recipiente G. El vapor de agua se descomponía en óxido de carbono e hidrógeno. Esta mezcla gaseosa entraba en contacto con la nafta que se vaporizaba y descomponía en el recalentador.

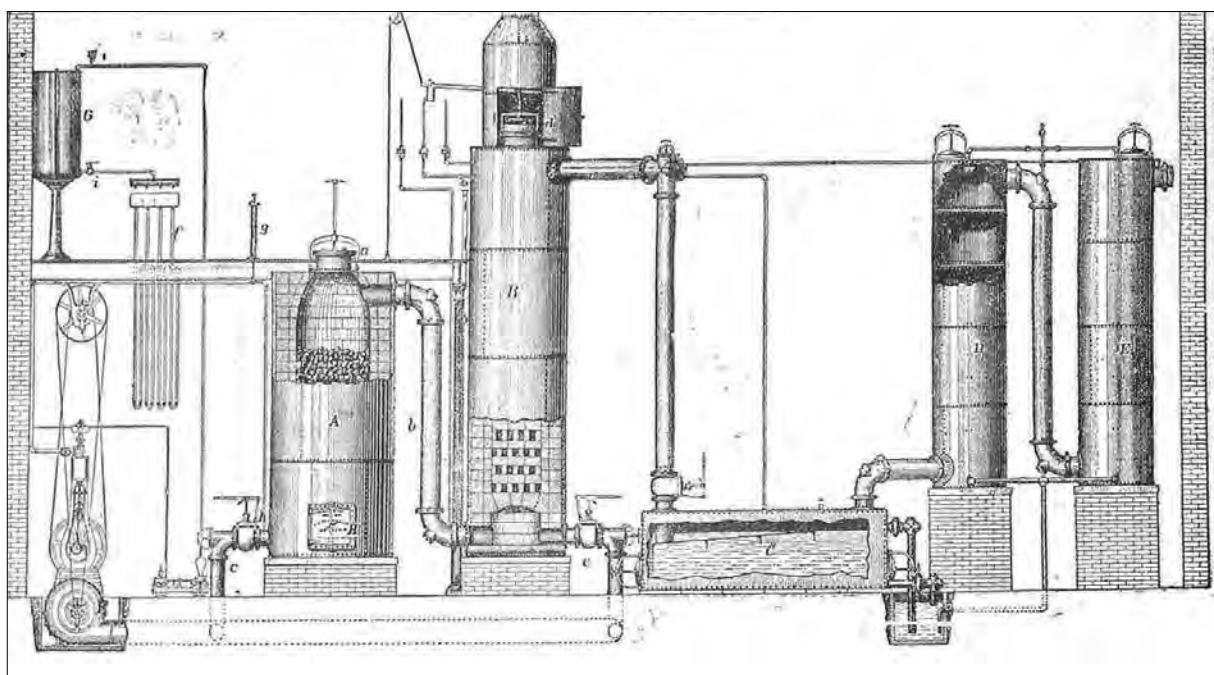
Una regulación precisa de la llegada del vapor y de la nafta daba lugar a un gas de alto poder lumínico que no requería más que una ligera limpieza para depurarse. El generador había que rellenarlo de nuevo de coque o antracita al cabo de 15 o 20 minutos y limpiarlo al menos cada 12 horas (Shelling, 1895: 40-42).

El gasógeno Lowe se caracterizaba por recuperar parcialmente el calor y por producir un gas de

agua carburado. Posteriormente fue perfeccionado dando lugar a los gasógenos Richard y Grance en los que el residuo del petróleo no era proyectado desde la parte superior del gasógeno sino que entraba por debajo del recalentador (Deschamps, 1902: 117).

4.3.2. Otros gasógenos para fabricar gas de agua

Un aparato destinado para producir gas azul fue el inventado por Dellwik-Fleischer, se trataba de un gasógeno equipado con unas piezas refractarias que estaba provisto de una parrilla horizontal en la parte inferior y un



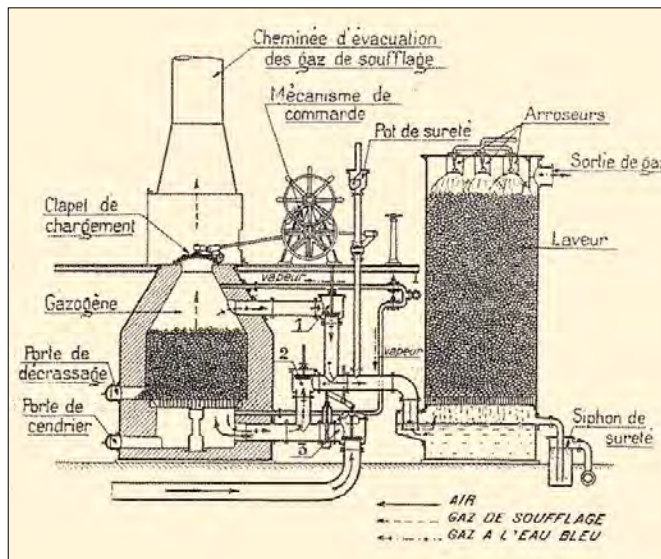
Fabricación de gas de agua por el proceso Lowe (Shelling, 1895: 40).

4. Otro tipo de gases combustibles

orificio de carga con una compuerta en la parte superior. También tenía un parachispas y un colector de polvos. El gas que salía del gasógeno por dos conductos, uno por la parte superior y el otro por la inferior, iba a parar a un scrubber. Había además dos tubos que introducían el vapor de agua, uno por encima del gasógeno y otro debajo de la parrilla. Además, también por la parte inferior se introducía el aire con ayuda de un ventilador.

En el periodo de insuflada, las válvulas 1 y 2 estaban cerradas y la 3 abierta, de esta manera se efectuaba la combustión completa del coque en el gasógeno y el humo era evacuado fácilmente por la chimenea. El periodo de fabricación se podía realizar de dos maneras según que la circulación en el gasógeno se realizase de abajo a arriba o al revés. Si era de abajo a arriba la válvula 1 estaba abierta y las 2 y 3 cerradas, entonces el vapor entraba por debajo. Mientras que si la circulación era de arriba a abajo, entonces las válvulas 1 y 3 estaban cerradas y la 2 abierta, en ese caso el vapor entraba por la parte superior del gasógeno. De esta manera se conseguía que el vapor atravesase la capa de combustible tanto en sentido ascendente como descendente favoreciéndose así la producción de gas azul. Los periodos de insuflada oscilaban entre un minuto o minuto y medio mientras que los de fabricación se alargaban hasta los 7 u 8 minutos con inyecciones de vapor practicadas alternativamente por arriba o por abajo. Los aparatos Dellwik-Fleischer producían por cada tonelada de coque entre 1.100 y 1.200 m³ de gas (Masse, 1934: 238).

La característica principal de este gasógeno era que la capa de carbón no era muy gruesa y estaba dispuesta de manera que podía ser atravesada por un excedente de aire, para lo



Gasógeno Dellwik-Fleischer (Masse, 1934: 238).

cual se disponía en la parte inferior, debajo de la parrilla, de un fuelle y se alimentaba el gasógeno con trozos de coque del tamaño de un puño para que el aire pudiese atravesarlo. El gasógeno Dellwik-Fleischer podría utilizar otro tipo de carbón como lo probaron los ensayos favorables realizados con lignitos. Sin embargo parecía más apropiado usar el coque incandescente resultante de las fábricas de gas de hulla y conducirlo al rojo hacia el gasógeno desde la salida de la retorta. El gas de agua obtenido después de mezclarlo con el de hulla se comercializaba como gas ciudad.

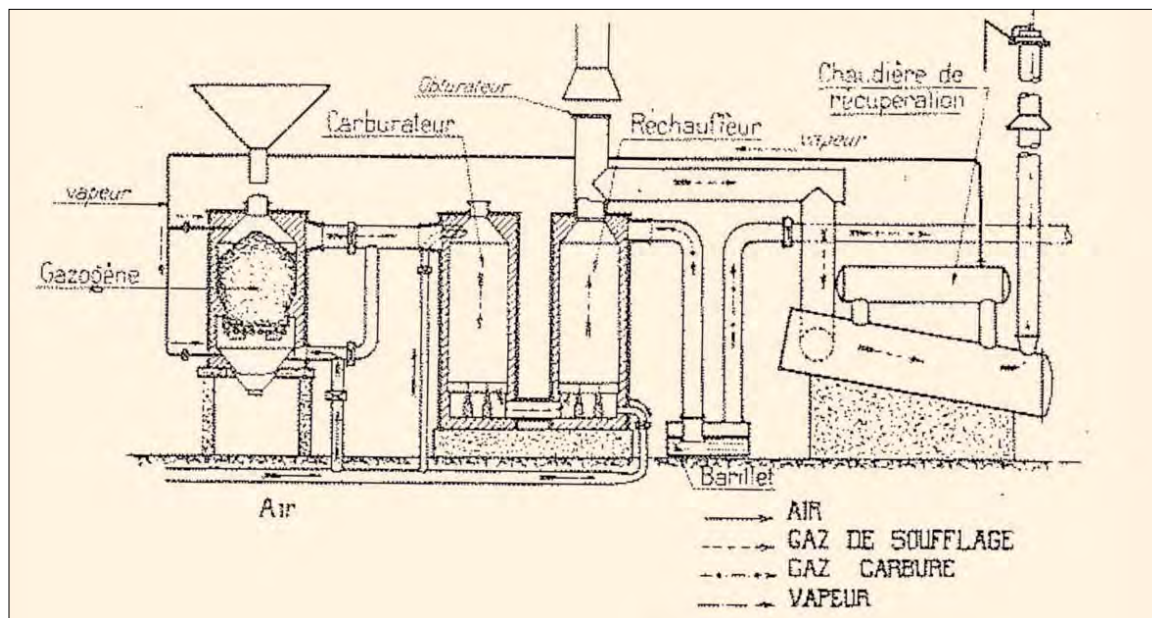
Como ejemplo de este tipo de gasógenos se puede citar las fábricas que funcionaban en diversas ciudades alemanas como Frankfurt (Congrès, 1900: 1001) o el que estableció la Compañía Popular de Gas y de Electricidad que comercializaba una mezcla de gas de agua con un 30% de gas de hulla para el alumbrado de Gijón

(España) y para alimentar dos motores Letombe de 200 CV cada uno (Deschamps, 1902: 119).

Otro aparato utilizado para producir gas de agua era el ideado por Krammers y Aarts. Consistía en dos grupos de gasógenos con recuperador que funcionaban en paralelo durante el periodo de insuflada y en serie durante la fabricación. De esta manera el vapor entraba por la parte baja del primer gasógeno atravesaba los dos recuperadores y finalmente entraba en el segundo gasógeno por la parte superior. Esta disposición permitía la descomposición en el último aparato del CO_2 producido en el primero. Además, cada nueva operación comportaba también un cambio de sentido en la circulación del vapor (Masse, 1934: 240).

Finalmente, otro aparato para producir gas de agua era de la casa Humphreys y Glasgow. Comprendía básicamente un gasógeno, un carburador, un recalentador, un lavador o barrilete y en algunas ocasiones una caldera de recuperación para calentar el vapor a partir del calor sensible del gas de agua carburado.

El gasógeno, el carburador y el recalentador estaban formados por cilindros verticales de plancha cubiertos de material refractario. El gasógeno comunicaba con el carburador por dos orificios situados uno sobre el coque y el otro bajo la parrilla. El carburador, que estaba equipado con un pulverizador de aceite en su parte superior, comunicaba por debajo con el recalentador, el cual tenía un orificio para la salida de los gases en la parte superior.



Gasógeno Humphreys & Glasgow (Masse, 1934: 242).

Durante la fase de insuflada el coque producía un gas rico en CO gracias a una admisión especial del aire quemado procedente del carburador. De aquí el gas de insuflada iba a parar al recalentador. Antes de salir se mezclaba con las cantidades de aire necesario para quemar las partes que hubiesen podido escapar a la combustión incrementando su calor sensible antes de entrar a la caldera de recuperación y salir a la atmósfera (Masse, 1934: 241-243).

El gas azul producido en el gasógeno durante el periodo de fabricación pasaba al carburador bajo una lluvia de aceite con el que se mezclaba. Gracias al contacto de los materiales de alta temperatura que llenaban el carburador y el recalentador, el aceite producía carburos volátiles que enriquecían el gas y productos alquitranados que se depositaban o se condensaban en el barrilete o en el condensador. Los periodos de insuflada duraban 2 minutos y los de fabricación 4. En esta fase el vapor entraba casi siempre debajo de la rejilla y solo una vez de cada cinco lo hacía a la parte superior. Como novedad la casa Humphreys and Glasgow Ltd. introdujo un sistema de control automático de las válvulas.

Estos gasógenos tuvieron una mayor aplicación en América que en Europa, aunque en Inglaterra o Alemania se instalara alguno como el que hubo en Hamburgo que producía 50.000 m³ cada día (Congrès, 1900: 1001).

La fábrica de gas de la Barceloneta por su parte construyó en 1934 un gasógeno de gas de agua carburado del modelo Otto-Pintsch que funcionaba como complemento a los hornos de cámaras de destilación continua Dr. Otto mediante la producción de 35.000 m³ de gas de agua azul de 2.668 kcal/m³ de poder calorífico superior (PCS) que se carburaba con la inyección de 55 litros de gasoil hasta conseguir 4.525 kcal/m³.

4.4. El gas de aire

La mezcla gaseosa que se obtiene de la combustión incompleta del carbón en presencia de aire es combustible y se denomina gas de aire. Lo que sucede es que el oxígeno del aire reacciona con el carbono y da lugar a la aparición de monóxido de carbono y de anhídrido carbónico en un proceso que desprende calor. Las reacciones son las siguientes:



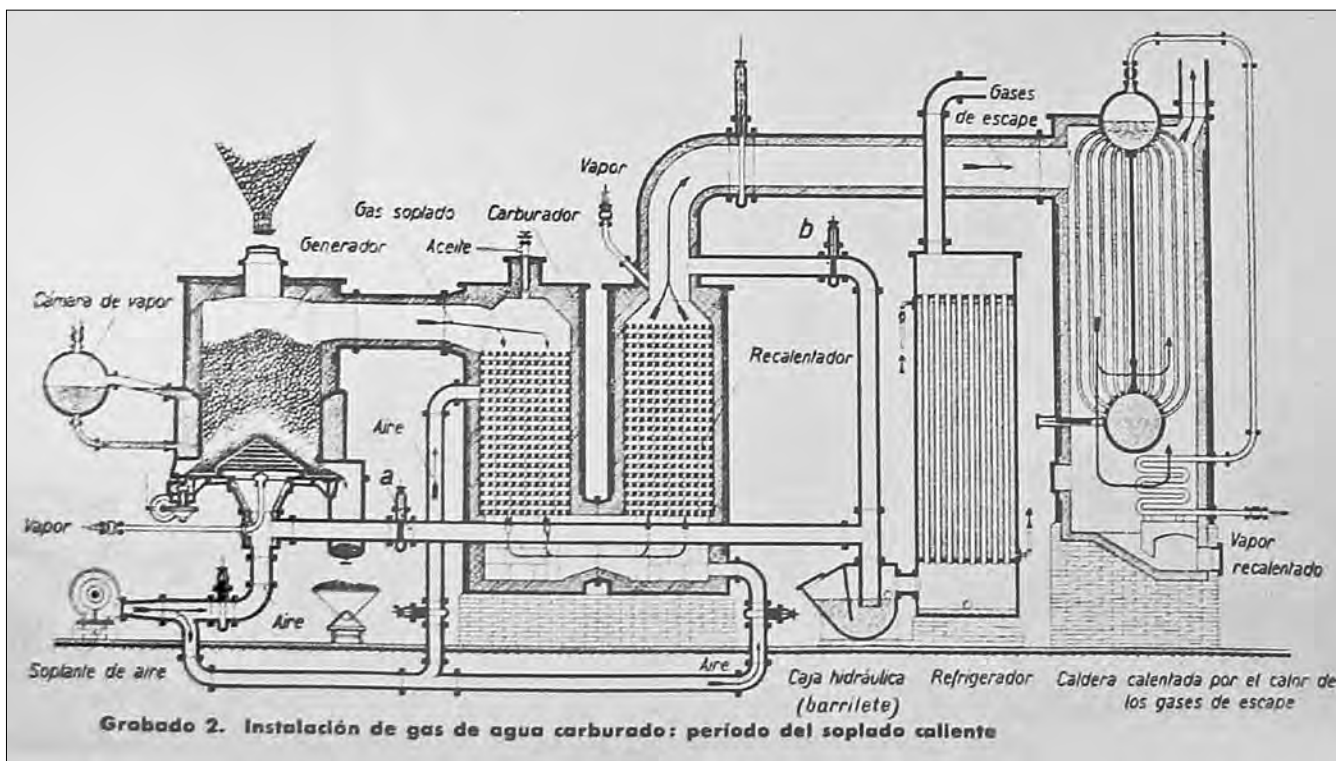
Además simultáneamente tienen lugar otras reacciones unas que desprenden y otras que absorben calor. Así el monóxido de carbono reacciona con el oxígeno y se transforma en anhídrido carbónico. Pero éste último, al pasar sobre el carbono, reacciona con él y se convierte en monóxido absorbiendo calor del medio.



Esto quiere decir que si se pone en contacto carbón con anhídrido carbónico a las condiciones de temperatura y presión apropiadas se producen unas reacciones inversas que dan lugar a que el anhídrido se convierta en óxido y el óxido en anhídrido. Se tratará de buscar un equilibrio siguiendo las leyes enunciadas en 1884 por Jacobus Henricus Van't Hoff (1852-1911) y por Henry Le Chatelier (1850-1936) y conocidas como leyes del desplazamiento del equilibrio por variación de la temperatura y por variación de la presión (Le Chatelier, 1884: 786-789).

Una de las principales aplicaciones del gas de aire en la industria es el calentamiento de los hornos bien sean de gas, de cerámica o de fabricación de vidrio. Este proceso se lleva a cabo dentro de un gasógeno en el que se hace pasar una corriente de aire por debajo de la parrilla en que está depositada la masa de combustible formada por hulla o coque en incandescencia. El gas de aire obtenido tendría que estar a una temperatura de 800°C para que se produzca la reacción inversa (1) según la cual el anhídrido carbónico producido inicialmente se convierte en monóxido. Para ello se suele recalentar el aire de entrada aprove-

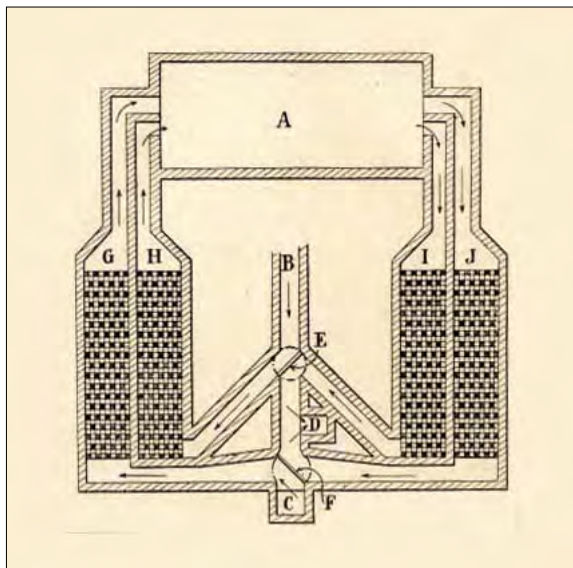
chando el calor de los humos de combustión. En ese sentido los gasógenos estaban equipados con unos intercambiadores que recuperaban ese calor que en caso contrario sería lanzado a la atmósfera. Estos humos se hacían pasar por unas cámaras repletas de material refractario que retenía el calor y cuando estaban bien calientes se interrumpía el paso de humos y se abría el paso de aire frío hasta que este adquiría una temperatura apropiada para ser introducido en el gasógeno. Entonces se invertía el proceso. Estos aparatos se conocen como recuperadores y una imagen de los cuales nos la da la figura



Instalación de gas de agua carburado Otto-Pintsch (Instalación, 5).

siguiente en la que A representa el horno, B la llegada de los gases provenientes del gasógeno y C la entrada del aire frío. En el esquema, las cámaras G y H han estado calentadas en una fase anterior por los humos de la combustión y ahora sirven para calentar el aire exterior que entra por C. En cambio las cámaras I y J están siendo calentadas por los humos de la combustión que provienen del horno y que después saldrán por la chimenea D al exterior.

La válvulas E y F permiten cambiar los sentidos de circulación de los humos y del aire. Hay que destacar que los ladrillos refractarios están dispuestos de manera que el aire y los humos están obligados a circular en zigzag (Marchis, 1908:1-5).



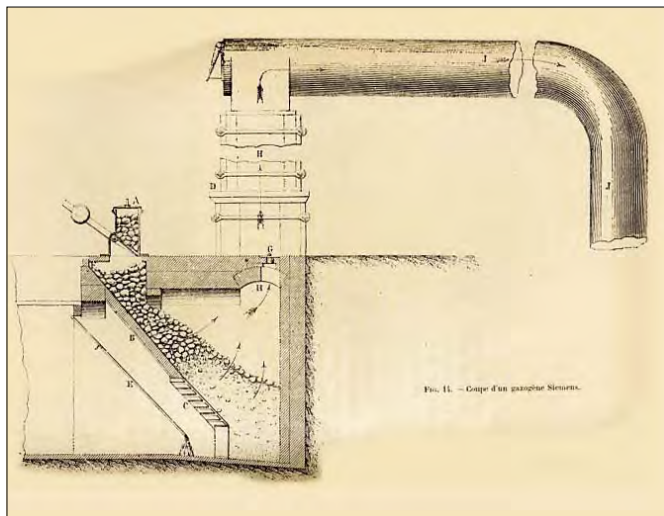
Esquema de un recuperador (Marchis, 1908: 7).

4.4.1. El gasógeno Siemens

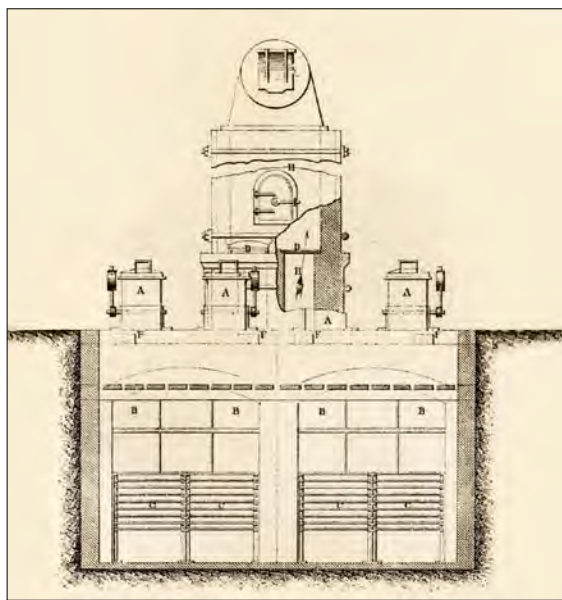
El gasógeno que normalmente suele producir gas de aire es el denominado de tipo Siemens. Se compone esencialmente de una cámara de ladrillos bien protegida de las pérdidas de calor donde el carbón que entra por una tolva (A) se reparte a lo largo de una pared inclinada (B) unos 45° y desciende hasta la parte inferior por una parrilla inclinada igual que la pared y que está formada por barrotes horizontales (C). El carbón mantenido entre tres paredes verticales se extiende sobre una capa de espesor ligeramente mayor a medida que se desciende debido a la inclinación de la pared. En contacto con el aire que le entra por debajo de la parrilla, ese carbón se quema y se acumula en forma de cenizas en el suelo de la fosa. El gas de aire producido es conducido hacia una chimenea (H) que conecta con un conducto en muchas ocasiones por acción de un extractor (Marchis, 1908: 8).

Para evitar que la temperatura sea demasiado elevada alrededor de la parrilla e impedir que esta se queme se suele enviar un chorro de agua por el conducto E sobre el suelo de la fosa, la cual se evapora y se mezcla con el aire protegiendo la parrilla. El gasógeno tiene unas aberturas (F) para introducir unos ganchos y retirar el carbón que se adhiere sobre la mampostería. A veces hay aberturas como estas en la tolva para empujar el combustible o para sacar las escorias. Generalmente, los gasógenos Siemens se reunían en grupos de dos como mínimo como puede verse en la figura siguiente.

El gasógeno Siemens es un aparato muy simple que presenta dos ventajas. La primera es que la pared inclinada impide que el gas circule en preferencia a lo largo de ella como sucede en los gasógenos verticales. Eso se debe a que esa pared inclinada favorece que los trozos



Sección de un gasógeno Siemens
(Deschamps, 1904: 138).



Alzado de un gasógeno doble Siemens
(Deschamps, 1904: 139).

pequeños de carbón se separen de los trozos más gruesos y descendan hasta apoyarse sobre ella, impidiendo así el paso del gas. La segunda ventaja es que, debido a la disposición de la parrilla, el aire atraviesa el carbón desde abajo perpendicularmente a la pared que lo soporta. Con eso se consigue que el carbón se caliente progresivamente de manera que cuando llega delante de la parrilla ya ha sido reducido al estado de coque. Si los trozos se han soldado se pueden arrancar con ganchos introducidos a través de los barrotes de la parrilla (Deschamps, 1902, 142).

El gasógeno Siemens presenta también algún inconveniente como es su bajo rendimiento debido a las grandes pérdidas de calor a través de las paredes. Por eso, se solían colocar enganchados por parejas o se suprimía la separación de las dos cubas e incluso se construyeron con dos paredes inclinadas.

Hay otros dos inconvenientes más a destacar. El primero es el polvo o las cenizas que arrastra el gas y que deposita en los conductos pudiendo llegar a obstruirlos completamente. Para solventar este problema se hacía pasar el gas por una chimenea vertical tan alta como fuese posible. El segundo inconveniente es que el carbón inicialmente destila produciendo unos gases que se juntan con los procedentes de la combustión incompleta del coque que tiene lugar más abajo. Los productos de la destilación son básicamente hidrocarburos volátiles que condensan en los conductos a medida que se enfrían. El temor está en que formen alquitranes que taponen los conductos. Sin embargo, a altas temperaturas los hidrocarburos se desdoblán convirtiéndose en compuestos más estables como el metano o el etileno que generan depósitos de carbono sobre los conductos que son aun más difíciles de eliminar. Este inconveniente es peor y no fue fácil de remediarlo de manera completa (Deschamps, 1902, 144).

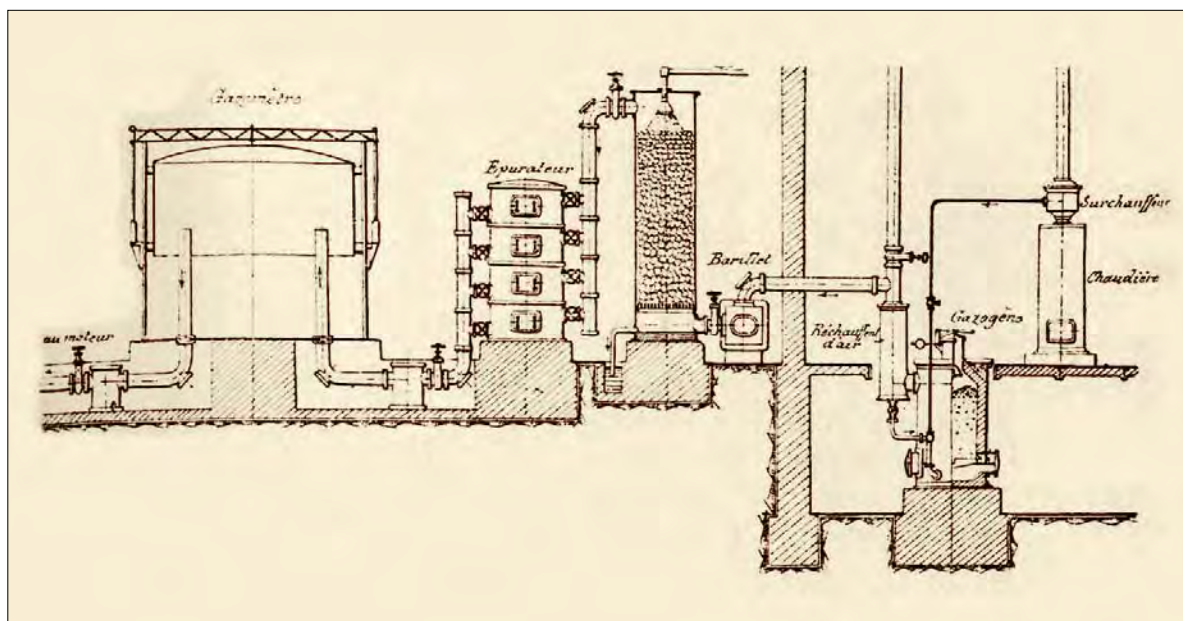
4.5. Gasógenos de gases mixtos

Hasta ahora hemos visto algunos ejemplos de gasógenos que producían gas de agua o de aire. Nos queda ahora tratar de aquellos que producían gas mixto o gas pobre que no era otra cosa que una mezcla de gas de agua y de gas de aire obtenida a partir de combustibles como el coque, la antracita, el lignito o la turba que se utilizaban principalmente en motores.

Cualquiera que fuese el tipo de gasógeno estaba siempre compuesto de una cuba refractaria equipada con una parrilla, de un vaporizador que tuviese regulación de caudal de vapor y de un depurador destinado a retener los subproductos generados como los alquitranes o el amoníaco.

Los gasógenos se pueden clasificar en dos clases diferentes según que la presión interior sea superior o inferior a la presión atmosférica. Los del primer grupo se denominan gasógenos de inyección porque el aire y el vapor se inyectan en el gasógeno a una presión capaz de activar la combustión y hacer circular el gas a través del depurador. Para crear esta presión se utilizan o bien un ventilador o un inyector de vapor conectado a una pequeña caldera. La figura siguiente recoge un ejemplo de gasógeno de inyección.

Los del segundo grupo se llaman gasógenos de aspiración porque la mezcla de aire y de vapor se aspira a través del gasógeno y del depurador y de ahí pasa al motor. Estos gasógenos tienen la ventaja de que pueden ser limpiados en marcha sin que haya

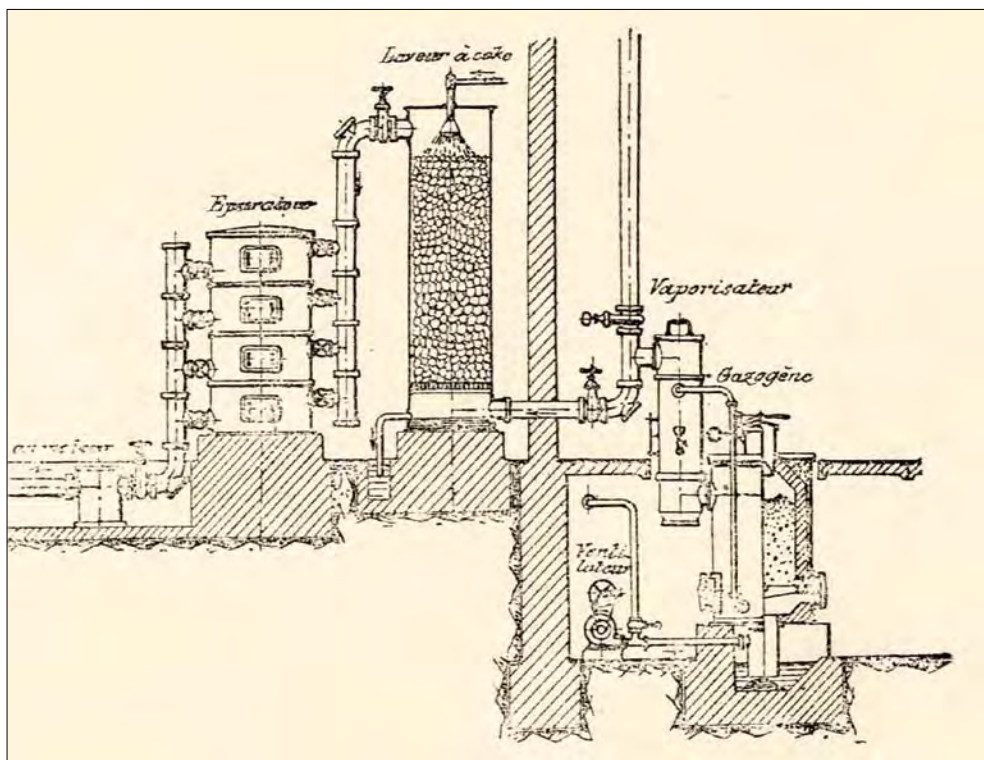


Esquema completo de instalación con un gasógeno de inyección (Marchis, 1908: 99).

peligro de fugas que afecten al fogonero. No obstante, presentan el inconveniente de dar lugar a una producción de gas variable. La figura siguiente representa un gasógeno de aspiración.

En estos gasógenos, en que el aire y el vapor entran por la parte inferior de la cuba que contiene el coque o la antracita, se producen al mismo tiempo las reacciones endotérmicas, antes citadas, de producción de gas de agua y las de producción de gas de aire que son exotérmicas obteniéndose CO_2 , CO y H_2 . Para el buen funciona-

miento del gasógeno tiene que cumplirse que la cantidad de calor absorbida sea inferior a la cantidad de calor cedida. Esta es una de las primeras condiciones que este aparato tiene que tener y por ello hay que limitar la cantidad de vapor de agua que se le insufla. Para conseguir eso se recomienda aislar el gasógeno para que no se pierda calor, o bien recuperar el calor de los gases que se lanzan a la atmósfera para calentar el aire entrante, o bien recalentar el agua de manera que se introduzca este elemento únicamente en forma de vapor y no como mezcla de agua líquida y vapor.



Esquema completo de instalación con un gasógeno de aspiración (Marchis, 1908: 99).

Cuadro 4.2 Tipos de gasógenos

Gasógeno para gas de aires	Gasógeno Siemens		
Gasógeno para gas de agua	Gasógeno Dellwik-Fleischer Gasógeno Krammers y Aarts Gasógeno Humphreys & Glasgow		
Gasógenos para gases mixtos	Gasógenos de aspiración	Pionero	Gasógeno Arbós
		Con bomba de aspiración	Gasógeno Otto-Deitz Gasógeno Genty
		Con alimentación continua tornillo inferior	Gasógeno Guilbaud
		Con alimentación a intervalos cortos	Gasógeno Griffin
		Con distribución automática de combustible	Gasógeno Triumph
		Con parrilla giratoria	Gasógeno Grice
		Con serpentín para limpiar la parrilla	Gasógeno Mersey Engine Works Cº
	Gasógenos de inyección	Pionero	Gasógeno Trebouillet
		Con aislamiento de arena	Gasógeno Ficher y Heurtey
		Con cámara aislante	Gasógeno Pierson
		Con aislamiento de capa de coque	Gasógeno Dowson
		Con parrilla cónica para el paso del aire	Gasógeno Lencauchez Gasógeno Crossley y Ribgy
		Con parrilla regulable	Gasógeno Catier
		Sin parrilla	Gasógeno Delion y Lepeu Gasógeno Hindley
		Con inyección mecánica de vapor	Gasógeno Letombe

Para obtener un gas que sea buen combustible se requiere que la cantidad de anhídrido carbónico sea la menor posible. Por eso se aconseja favorecer aquellas reacciones que dan lugar a CO y H₂ en detrimento de las que producen CO₂. La forma de conseguir un gas de estas características es variada. En primer lugar se puede incidir en la duración del contacto entre los gases y el carbón incandescente. A menor velocidad de la corriente de gas, mayor contacto y en consecuencia se produce un gas óptimo para la combustión. También se puede incidir sobre la superficie de contacto entre la capa incandescente y la mezcla de aire y vapor. A mayor superficie, mayor contacto. Sin embargo si la superficie se consigue en detrimento del espesor el resultado puede ser el contrario del deseado. La necesidad de un buen contacto entre el carbón incandescente y la mezcla aire y vapor obliga a que esta atraviese la masa total de carbón. Si, por razones diversas, la mezcla resbala y se escapa sin reaccionar con la masa incandescente, el gas obtenido no será bueno ya que contendrá excesiva cantidad de elementos no combustibles. Aquí, también la temperatura elevada a la que está el carbón es un factor clave para favorecer las reacciones exotérmicas en detrimento de las endotérmicas. Por ello se dice que una marcha en caliente del gasógeno da lugar a un gas más rico en monóxido de carbono y en hidrógeno (Marchis, 1908: 100).

4.5.1. El gasógeno Arbós

Hacia 1860 empezó a aplicarse el gas en los motores. La primera patente corresponde a Etienne Lenoir (1822-1900) ingeniero belga que inventó el primer motor de combustión interna. No obstante, las primeras pruebas no resultaron muy rentables por lo que se siguió prefiriendo el vapor. Para que el invento fuese útil hacía falta un nuevo tipo de gas más barato cosa que se consiguió con la fabricación de gas pobre.

En 1862, Arbós en Cataluña y Trebouillet en Francia idearon los primeros gasógenos aplicados a motores. El primero utilizó el sistema de aspiración, mientras que el segundo hizo servir el de inyección.

Trebouillet obtenía gas pobre inyectando una corriente de vapor de agua recalentado por encima de una capa de carbón incandescente. Jaume Arbós en lugar de inyectar el vapor aprovechaba la aspiración del motor. Sin embargo, los gasógenos de aspiración no se utilizaron hacia 1879 y la patente de Arbós fue casi ignorada a excepción de Witz que en su obra *Traité théorique et pratique des moteurs à gaz et à pétrole* hace mención expresa a Arbós como el primero que patentó un gasógeno por el método de aspiración.²³

²³ “ M. Arbos, professeur à l'Université de Barcelone, produisait du gaz de gazogène en se servant aussi de charbon de bois, mais sans insuffler d'air dans la cuve. Le moteur aspirait directement sur ce générateur, dont la partie supérieur formait vaporisateur et surchauffeur, ce qui permettait d'utiliser les chaleurs perdues. Cette vapeur débouchait sous le cendrier, et s'y mêlait à l'air, avant de traverser le combustible. Il se produisait donc un gaz mixte, mélangé de gaz de fourneau et de gaz à l'eau, Le procédé Arbos vient d'être remis en œuvre et perfectionné par M. Bénier, comme nous le dirons plus loin. M. Lencauchez estime que le gaz Arbos, dont nous ne connaissons pas l'analyse exacte possédait un pouvoir de 1.350 calories au mètre cube, à 0 degré et 760 millimètres de pression. Mais, comme le moteur Lenoir de cette époque consommait de 2 a 3 mètres cubes de gaz d'éclairage, donnant bien près de 5.000 calories par mètre cube, il ne pouvait donner de bons résultats avec gaz pauvre: aussi, dit encore Lencauchez, «si j'ai constaté que le moteur tournait régulièrement à vide, je reconnais que la moindre charge l'arrêtait net ». L'idée d'alimenter les moteurs à gaz de gaz pauvre remonte donc a 1862 ; mais le succès ne répondit pas alors aux espérances des innovateurs.” (Witz, 1895: II,12).

Posteriormente Calzavara en su obra *Motores de gas, de alcohol y de petróleo* reconoce explícitamente la aportación de Arbós a la industria del gas y considera que es de justicia dedicarle un recuerdo aunque su aportación fuese prematura (Calzavara, 1908: 160).

Jaime Arbós y Tor (1824-1882) había sido discípulo de José Roura en la cátedra de química de la Junta de Comercio y allí fue donde se introdujo en el tema de la fabricación del gas de alumbrado. Cuando aún era estudiante y compaginaba esta actividad con el trabajo en el taller de tintorería de su familia instaló un aparato de gas de alumbrado con un sistema de tuberías muy precario: “Puso el gasómetro en el aljibe y con cañas agujereadas por dentro, revestidas exteriormente con betún, improvisó un sistema de tuberías por medio de las cuales

condujo el gas a todos los departamentos de la casa” (Manjarrés, 1885: 7).

Unos años más tarde, siendo ya sacerdote, instaló en su casa un sistema de alumbrado de gas que obtenía llenando un cilindro con cisco y otras sustancias carbonosas de origen vegetal y cuando estaba incandescente hacía circular una corriente de aire y vapor de agua de manera que conseguía un gas pobre de potencia calorífica inferior de 1.350 kcal. La mezcla gaseosa obtenida se componía de monóxido de carbono, hidrógeno, nitrógeno y pequeñas cantidades de hidrocarburos suficientemente inflamables y no requería de retortas ya que se deterioraban muy rápidamente. Unos años más tarde consiguió comercializar este gas con una reducción del 75% del precio de coste y se conoció como gas Arbós.

Jaime Arbós obtuvo cinco patentes sobre el gas y los gasógenos que excepto la primera obtuvieron el privilegio de prácticas que acreditaba que se habían llevado a cabo (Puig; Bernat: 1995:328). La número 2.570 de 23 de octubre de 1862, titulada *Procedimiento para obtener un compuesto gaseoso aplicable como motor a las máquinas fijas o móviles y otros usos*, es especialmente importante ya que en ella se describe por primera vez el gasógeno de aspiración. En ella Arbós pedía que se le reconociese el privilegio de invención de la mezcla gaseosa y la propiedad de construcción del aparato del que reclamaba la originalidad principalmente en la producción de vapor por recuperación del calor de la combustión.



Jaime Arbós (Bernat, 2003: 59).

El gasógeno Arbós se componía de una caldera de vapor (M) recubierta por su parte exterior por un material mal conductor, cuya agua se calentaba con el calor desprendido por el horno (A) que estaba situado en su interior. La caldera disponía de un tubo (T) para extraer el agua, de un flotador de nivel (O) de otro tubo que comunicaba con un manómetro (N), de una válvula de seguridad (P), de un tubo que servía para alimentar la caldera con el agua calentada en la camisa del cilindro (R) y de otro (S) que conducía

el vapor a la caja de distribución de una máquina de vapor ordinaria.

El horno estaba cubierto interiormente por una capa de tierra refractaria y disponía de una rejilla circular (B) que permitía el paso del aire a su interior. Disponía de un cenicero (C) situado de manera que dejaba un espacio entre él y la rejilla para facilitar la limpieza. Un tubo (D) comunicaba con un fuelle para inyectar aire únicamente al empezar la operación y después, con la máquina en funcionamiento, la propia aspiración se encargaba de mantener el aire (no obstante, según el tipo de combustión, Arbós recomendaba utilizar el mecanismo de insuflar el aire bien con el fuelle o con un ventilador accionado por la misma máquina). El carbón se introducía por una tolva cónica (F), por donde también salían los primeros gases al inicio de la operación. Había un tubo (L) para la introducción del vapor bajo la rejilla y otro (G) para la salida de los gases. El gasógeno Arbós disponía también de un tubo en forma de sifón (E) para la entrada de materias combustibles líquidas y aumentar el poder combustible de la mezcla. La mezcla gaseosa era conducida al tubo de salida (G) donde se dirigía a un hornillo menor (I) a través de un cilindro de hierro o tierra refractaria (H). De hecho este hornillo se podía suprimir colocándolo en el interior del horno (A). Este cilindro tenía carbón incandescente que servía para descomponer el anhídrido carbónico y otros vapores escapados de la descomposición en el horno A. Un tubo J conducía la mezcla gaseosa resultante al cilindro de un motor donde se producía la chispa que lo ponía en movimiento.

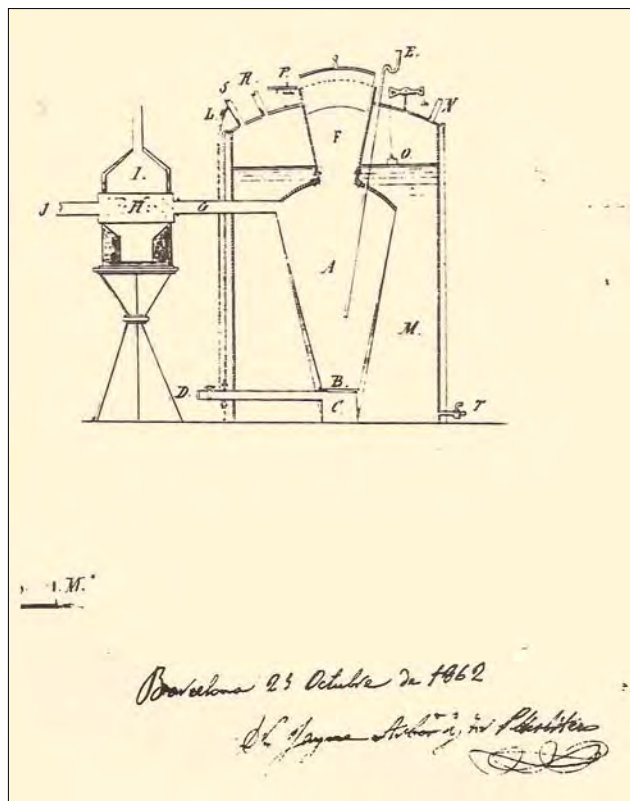


Imagen del gasógeno Arbós según la patente de 1862
(Bernat, 2003: 63)

El gasógeno se ponía en marcha encendiendo el fuego en el horno A y también en el hornillo I. Una vez encendido se llenaba de carbón y se introducía aire mediante el fuelle y cuando salían gases inflamables por la abertura cónica F entonces se tapaba esta de manera que la mezcla gaseosa estaba obligada a salir por G. De ahí los gases entraban en el cilindro H que también estaba lleno de carbón incandescente para ser introducidos en el cilindro del motor.

Arbós explicaba en su patente que si se deseaba que la mezcla gaseosa fuese rica en materias inflamables había que introducir, en el hornillo por el sifón E, brea, aceite de resina, petróleo, esquisto, aceites u otras materias grasas según se quisiese que el gas fuese más o menos rico en hidrocarburos. Durante la formación de la mezcla gaseosa se generaba una gran cantidad de calor en el horno que servía para calentar el agua de la caldera. Esta ya estaba alimentada por el agua que envolvía la camisa del cilindro de la máquina que había sido calentada con el calor de la combustión de la mezcla gaseosa en el interior del pistón.

El gasógeno Arbós fue acreditado en Barcelona en el número 10 del Portal del Angel en un local del Marqués de Rocabuena cosa que garantiza que funcionó. Además en la documentación del privilegio consta que el inventor había declarado que le habían hecho muchos pedidos (Saiz, 1993:28).

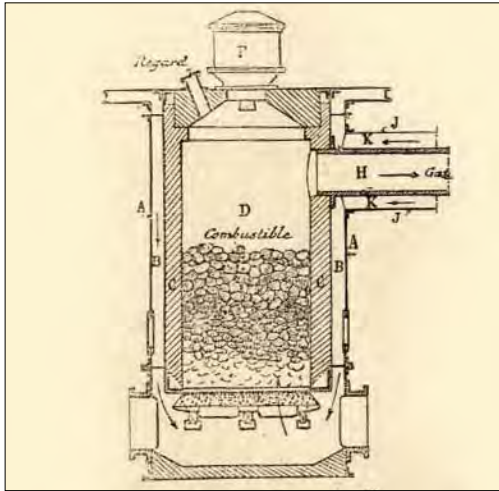
En 1864, Artur Galofré construyó una instalación de gas en Vilafranca del Penedés. Al año siguiente, la fábrica que la empresa textil La España Industrial tenía en Sants ya disponía de 1.200 lámparas iluminadas con gas Arbós. Ese mismo

año se hizo una instalación de gas por el método Arbós en el Hospital Militar de Barcelona que estaba situado en la calle Tallers donde no solo se utilizó para iluminar sino también para la calefacción y las cocinas. El ejemplo de Barcelona fue seguido por otras ciudades de Cataluña como Badalona, y en otras ciudades como Tarragona, se discutió sobre la conveniencia de adoptarlo (Puig; Bernat, 1995: 34).

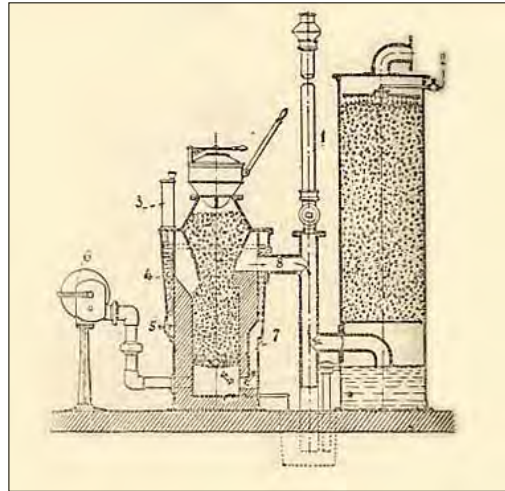
El gas Arbós presentaba la ventaja de reducir la dependencia del carbón. Pero su bajo poder calorífico pudo ser la causa de que cayese pronto en desuso. En Badalona por ejemplo se inició la producción de gas Arbós en 1864 pero en 1892 se dejó de producir ese gas y se sustituyó por gas de hulla debido a que la fábrica fue absorbida en 1883 por La Propagadora de Gas, empresa creada en la villa de Gracia y que suministraba a diversas localidades cercanas a Barcelona (Arroyo, 2006).

4.5.2. Gasógenos de inyección

Los diferentes tipos de gasógenos y los perfeccionamientos introducidos fueron encaminados a obtener un gas óptimo más rico en monóxido de carbono y en hidrógeno. Por ello hubo constructores de gasógenos que optaron por evitar las pérdidas de calor por radiación o conducción estableciendo un aislamiento de amianto o arena entre la camisa refractaria que está en contacto con el fuego y la envolvente exterior de chapa o fundición. La figura siguiente muestra un gasógeno Ficher y Heurtey que está provisto de un aislamiento de arena.



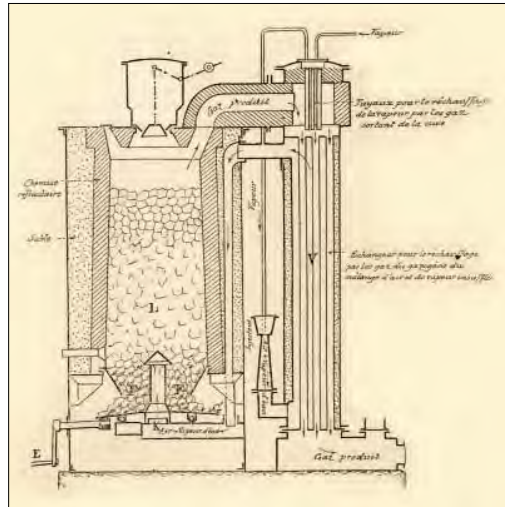
Gasógeno Pierson (Marchis, 1908: 104).



Gasógeno Dowson (Marchis, 1908: 104).

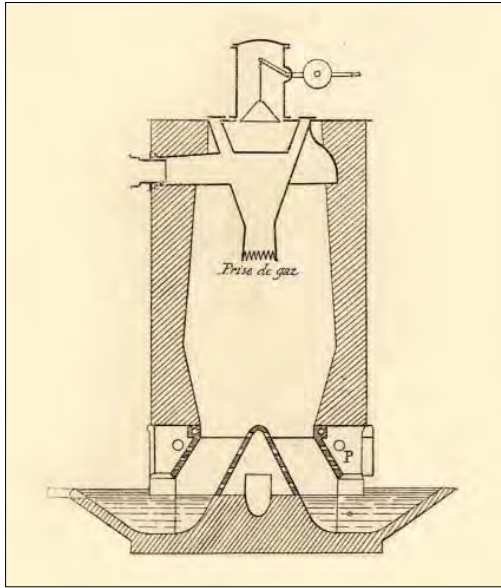
Otros constructores prefirieron interponer una cámara aislante formada por la mezcla de aire y vapor la cual se hacía circular entre las dos envolventes. Esta circulación presentaba la ventaja de que, además de aislar, calentaba la mezcla antes de que entrase por debajo de la parrilla del gasógeno. La figura siguiente representa un gasógeno Pierson de estas características.

En 1906, se presentó el gasógeno Dowson que se caracterizaba por estar aislado por una capa de recubrimiento formada por fragmentos de coque que llenaba el espacio entre la envolvente exterior y la camisa refractaria. Este incremento de la temperatura del coque servía para vaporizar el agua y calentar el aire que entraban por su parte superior y recorría toda la capa aislante antes de introducirse en el gasógeno por debajo de la parrilla. La figura anterior muestra un gasógeno Dowson.



Gasógeno Ficher y Heurtey (Marchis, 1908: 105).

Como hemos explicado antes, es conveniente que el aire atravesase la masa de carbón caliente por eso se le insuflaba sobre la parrilla y como

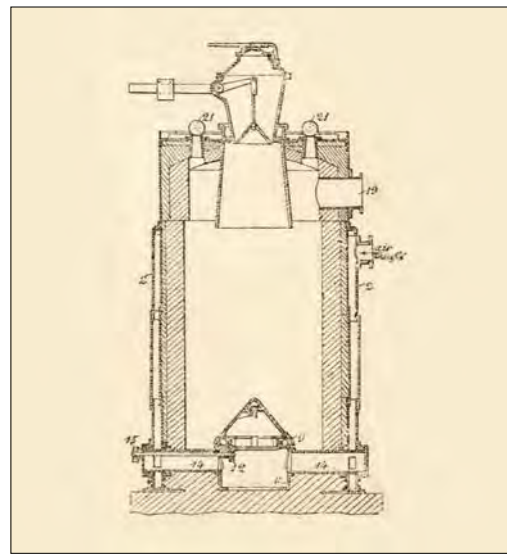


Gasógeno Lencauchez (Marchis, 1908: 106).

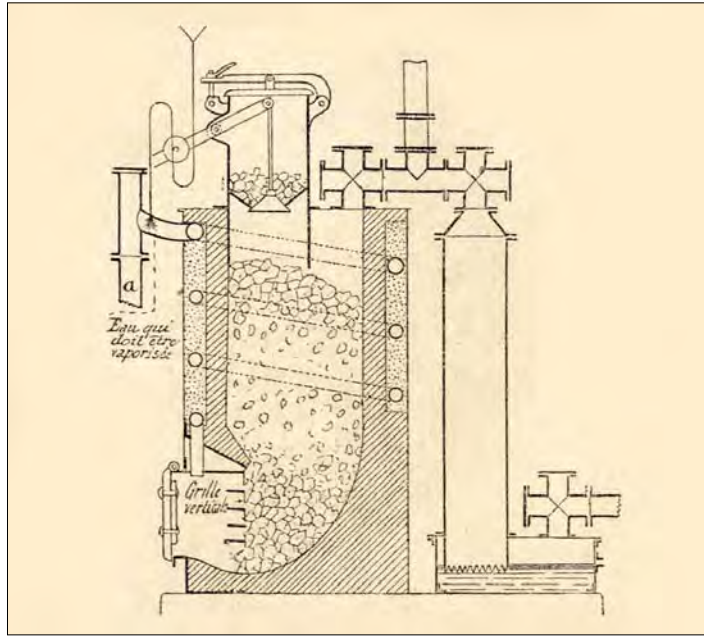
este tendía a seguir las paredes se veía obligado a atravesar el combustible. En algunos gasógenos, como el Fichet y Heurtey, se introducía el aire caliente ya que previamente había atravesado primero las escorias. Para ello el aire penetraba por el centro del gasógeno por un conducto vertical, atravesaba la capa de cenizas y escorias y continuaba hasta la zona de combustión la cual estaba protegida con un sombrero en forma de champiñón que evitaba que el aire arrastrase carbón y cenizas. Lencauchez construyó un tipo de gasógeno de inyección central en el cual la carga en lugar de reposar sobre la parrilla se apoya sobre un cono de fundición agujereado para permitir el paso del aire y del vapor de agua y separar las escorias en un recipiente con circulación de agua situado en la base del gasógeno. La figura siguiente representa este dispositivo con claridad.

Estos dispositivos cónicos favorecían la distribución uniforme del aire hacia el centro de la masa de carbón. Otro ejemplo de este sistema lo daba el gasógeno Crossley y Ribgy en el cual la inclinación de la parrilla cónica distribuía el carbón hacia las paredes y obligaba al aire a pasar a través de él (Marchis, 1908: 105).

También hemos dicho que para conseguir un gas óptimo hay que controlar la proporción de aire y vapor de agua. Algunos gasógenos de inyección utilizaban inyectores de vapor alimentados por una caldera independiente del gasógeno. Así en los gasógenos Dowson se utilizaban inyectores de tipos Koerting. Estos daban buen resultado cuando el combustible era antracita ya que casi no producían cenizas. Pero en otros casos o cuando se quería forzar la producción de gas, el vapor tendía a apagar el fuego por la parte baja del gasógeno y



Gasógeno Crossley y Ribgy (Marchis, 1908: 106).



Gasógeno Letombe (Marchis, 1908: 107).

desplazaba la zona combustible hacia la parte superior de manera que la altura de la columna de carbón se veía reducida y el gas resultaba peor. En este caso se tenía que parar y vaciar el gasógeno.

Para evitar estas molestias se substituyó la inyección de vapor por la inyección mecánica obtenida por un ventilador, un extractor o una bomba de compresión. Se complicaba así el gasógeno ya que se requería un sistema de transmisión de fuerza. Un ejemplo de este sistema lo constituye el gasógeno Letombe en el cual se insuflaba aire, previamente humidificado, con un ventilador. Este aire húmedo circulaba por un serpentín que estaba alojado en la capa de arena aislante que envolvía la cuba. Esta mezcla de aire y vapor calentada era la que

se enviaba directamente al hogar. La figura siguiente muestra un gasógeno Letombe.

Algunos gasógenos utilizaban una caldera independiente, situada en la parte superior de la cuba o alrededor de la parrilla, para producir el vapor. Sin embargo, muchos constructores suprimían esta caldera y utilizaban vaporizadores de agua que recuperaban el calor de los gases salientes o del que se desprendía por la parrilla.

4.5.3. Gasógenos de aspiración

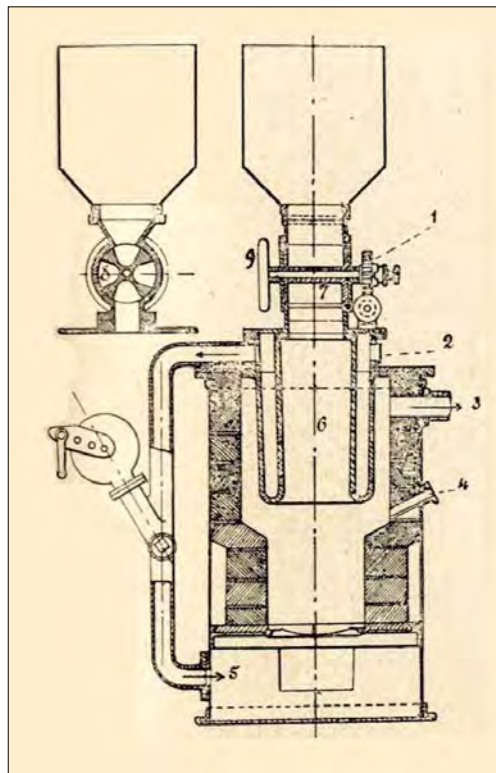
A principios del siglo XX, los gasógenos de inyección de vapor o de inyección mecánica,

a parte de las complicaciones resultantes de la caldera o del inyector, presentaban el problema de producir fugas de gas tóxicas y además eran voluminosos y caros. Por todo ello se tendió a sustituirlos por los gasógenos de aspiración, principalmente en alimentación de motores de pequeña y media potencia.

La ventaja económica y de simplicidad que presentaban los gasógenos de aspiración se veía reducida por los inconvenientes que también presentaban. En primer lugar, tenían que reducir al mínimo el sistema de depuración para que el motor pudiese producir en la cuba la aspiración suficiente. El tipo de carbón que estos gasógenos utilizaban daba lugar a la aparición de pequeñas cantidades de sulfhídrico y de alquitrán. Además, como la presión en el interior de estos gasógenos era inferior a la atmosférica, el peligro de entrada de aire y de explosiones era mayor que en los gasógenos de inyección. Para evitar esto algunos constructores como Letombe idearon unos gasógenos que trabajaban a la presión atmosférica. Se conocen como gasógenos de atmósfera compensada. De hecho se trataba de gasógenos de inyección con un regulador compensador que actuaba sobre la inyección para evitar la depresión de los conductos.

Para reunir las ventajas de los gasógenos de aspiración, como la supresión del inyector, e incorporar el uso del gasómetro, se inventaron los gasógenos Otto-Deutz o Genty que solían disponer de una bomba de aspiración que sacaba los gases fuera de la cuba y los reconducía a un gasómetro. En este aparato la presión era ligeramente superior a la atmosférica.

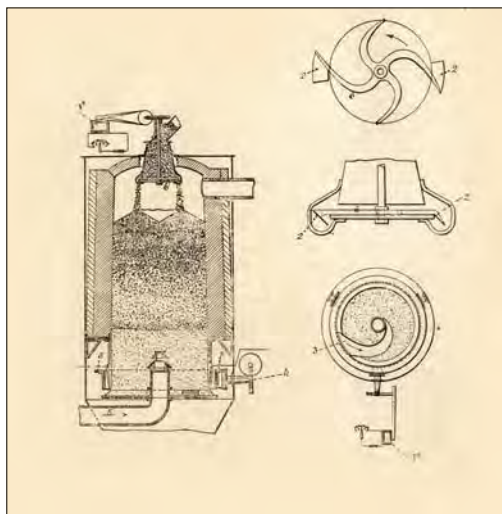
Un elemento que afectaba a la composición del gas era la variación que ocasionaban los cambios de carga de carbón fresco. Por ello



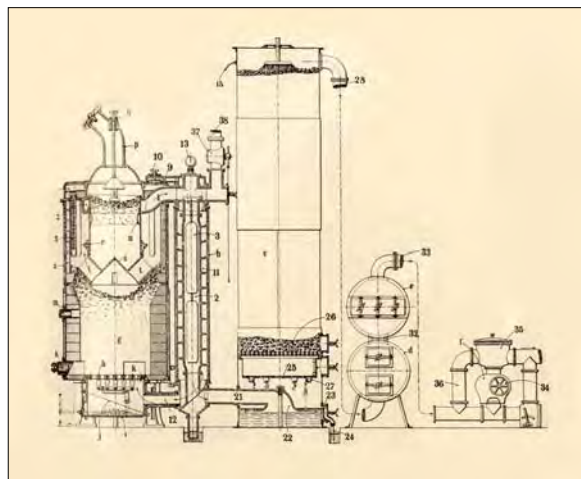
Gasógeno Griffin (Marchis, 1908: 109).

algunos gasógenos intentaban conseguir una carga continua utilizando una tolva larga en la que el carbón permanecía un tiempo antes de discurrir hacia el interior del gasógeno. Esto es lo que sucedía en el gasógeno de Crossley y Ribgy. En cambio el gasógeno Guilbaud realizaba la alimentación continua por debajo bien a través de un tornillo o de dos que giraban en sus respectivos conductos rectos.

Si no se disponía de mecanismo de carga continua se aconsejaba realizar las cargas a intervalos cortos y con poco carbón cada vez. En los gasógenos de aspiración el intervalo de carga era de unas dos horas. Esto se



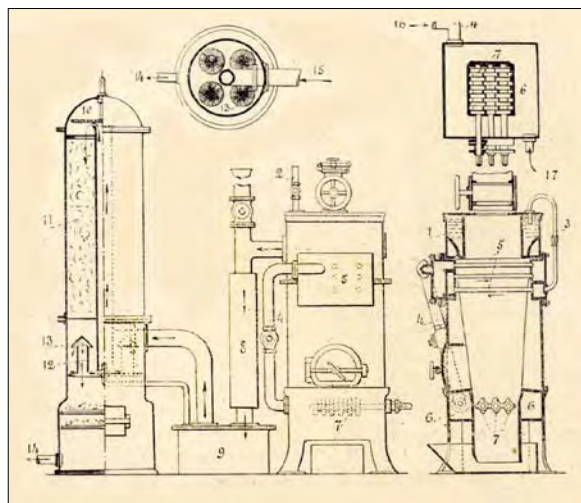
Gasógeno Triumph (Marchis, 1908: 110.)



Gasógeno Genty (Marchis, 1908: 127).

conseguía fácilmente con el gasógeno Griffin que disponía de una llave de cuatro compartimentos accionados mecánica o manualmente. Cada compartimento contenía aproximadamente un kilogramo de carbón de manera que un giro de la llave introducía cuatro kilogramos, cantidad suficiente para el funcionamiento durante la noche de un gasógeno de 30 caballos. La figura adjunta permite ver el esquema del gasógeno Griffin (Marchis, 1908: 109).

Un ejemplo de gasógeno de distribución automática de combustible es el gasógeno Triumph que disponía de paletas dirigidas por una dinamo que distribuían el carbón homogéneamente en capas horizontales. Esta disposición del combustible era preferida a otras porque influía en la riqueza del gas producido. Sin embargo, no todos los fabricantes mantenían este mismo criterio. Había algunos que se esforzaban en distribuir



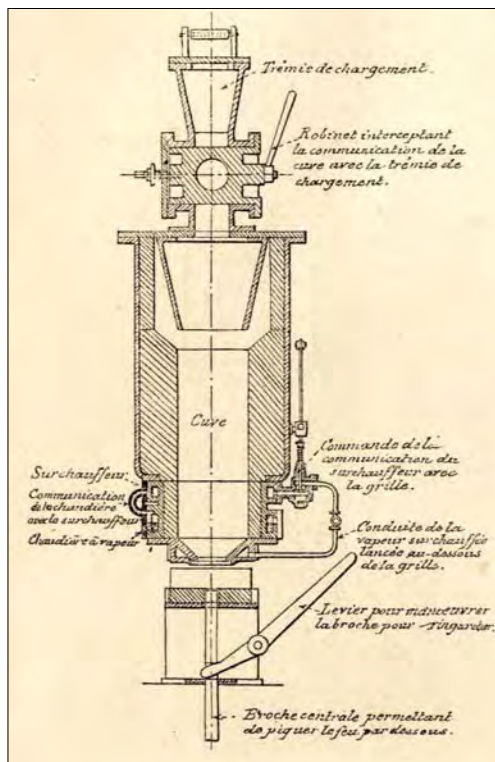
Gasógeno Grice (Marchis, 1908: 111).

el combustible hacia la periferia de la cuba adoptando una disposición cóncava y de forma de cono invertido como sucedía en el gasógeno Genty (Marchis: 1908: 110).

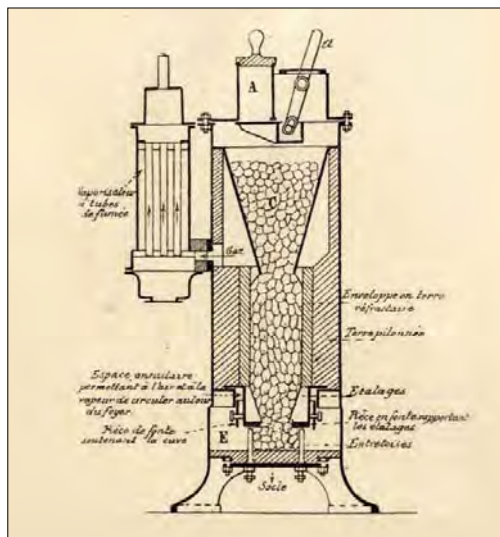
4.5.4. Nuevas mejoras en los gasógenos

El combustible que se introducía en el gasógeno producía cenizas que se acumulaban en la parte inferior y que convenía eliminarlas para no impedir la entrada del aire sea por debajo de la parrilla o por encima. Esta operación se denomina escoriar y se aconsejaba llevarla a cabo con el gasógeno en marcha, bien por enfriamiento de la zona incandescente, o por la introducción de un exceso de aire, o, si no había otro remedio, por la suspensión momentánea de la inyección de vapor (Marchis, 1908: 111).

Se inventaron mecanismos para escoriar mecánicamente utilizando una parrilla móvil o una solera giratoria que facilitaban la caída de las cenizas sin afectar el funcionamiento del gasógeno. Así, el gasógeno Fichet-Heurtey presentaba una parrilla giratoria, el gasógeno



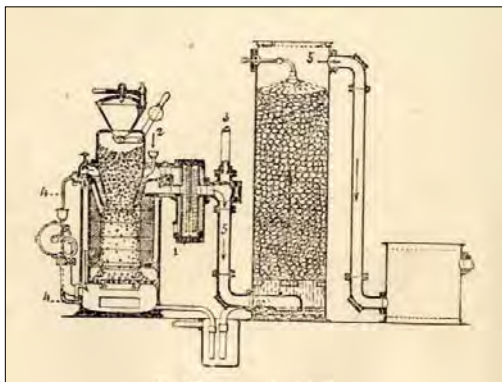
Gasógeno Pierson (Marchis, 1908: 112).



Gasógeno Taylor (Marchis, 1908: 114).

Crossley-Rigby llevaba un dispositivo análogo formado por una parrilla cónica que descansaba sobre unos rodamientos y el gasógeno Grice estaba formado por una parrilla de barrotos giratorios con dientes y uniones que rompían las escorias.

La regulación de las cenizas que producía un gasógeno era aconsejable ya que fundían a temperatura variable comprendida entre 1.000° y 1.300° y por encima de 1.400° se combinaban con el hierro de los barrotos de la parrilla y con el material refractario de las paredes dando lugar a silicatos dobles de alúmina y de hierro que se conocían con el nombre de cagafierro. Estas



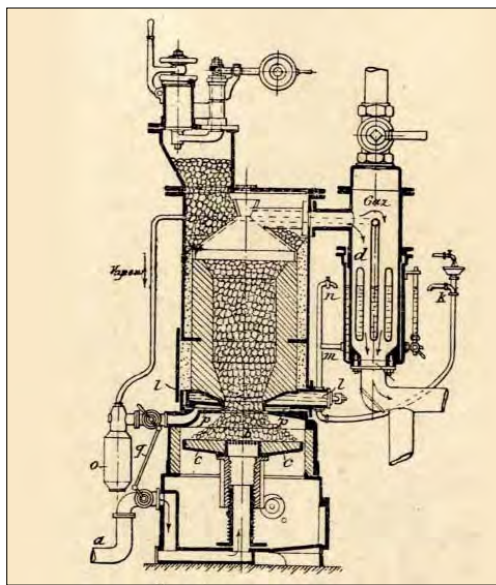
Gasógeno Hindley (Marchis, 1908: 112).

cenizas podían entorpecer la circulación del aire hinchando las capas de combustible. Para evitar eso, se desarrollaron gasógenos de marcha fría que se conseguía inyectando gran cantidad de vapor, cosa que impedía la formación de escorias y además las cenizas caían en forma de polvo. También se fabricaron gasógenos sin aislamiento o algunos otros con parrillas de fácil acceso o con agua en la cubeta para evitar el deterioro de la parrilla e incluso en algunos, como el gasógeno Taylor, el Pierson o el Delion y Lepeu, se suprimió hasta la parrilla.

El combustible se mantenía en una especie de retorta, mientras que las cenizas se depositaban en la base sobre una plancha accesible para la limpieza. El gasógeno Pierson tenía además una especie de brocha central que con ayuda de una palanca golpea por debajo y hacía caer las cenizas. En otros gasógenos no se suprimió la parrilla pero se dejó un espacio entre esta y el soporte de la retorta para facilitar la limpieza, como el gasógeno Hindley que además permitía la utilización de una parrilla de gran superficie para facilitar el paso de la mezcla de aire y de vapor. En otros gasógenos como el

Catier la altura de la parrilla era regulable en función de la marcha del gasógeno y el tipo de combustible.

Según el tipo de hogar, los gasógenos de aspiración se clasificaban en cerrados y abiertos. Los primeros se caracterizaban porque la mezcla de vapor y aire se realizaba antes de la entrada en el hogar y llegaba a través de un tubo. Estos gasógenos solo funcionaban bien si utilizaban carbones exentos de cenizas, ya que para limpiarlos había que pararlos para abrir la puerta del hogar. Este inconveniente no lo presentaban gasógenos como el Mersey Engine Works C^o ya que tenía un serpentín que permitía limpiar la parrilla con todas las puertas abiertas. El agua que caía en el cenicero se vaporizaba y se mezclaba con el exceso de aire que entraba por las puertas, cosa que permitía eliminar el peligro de que el gas fabricado se deteriorase.

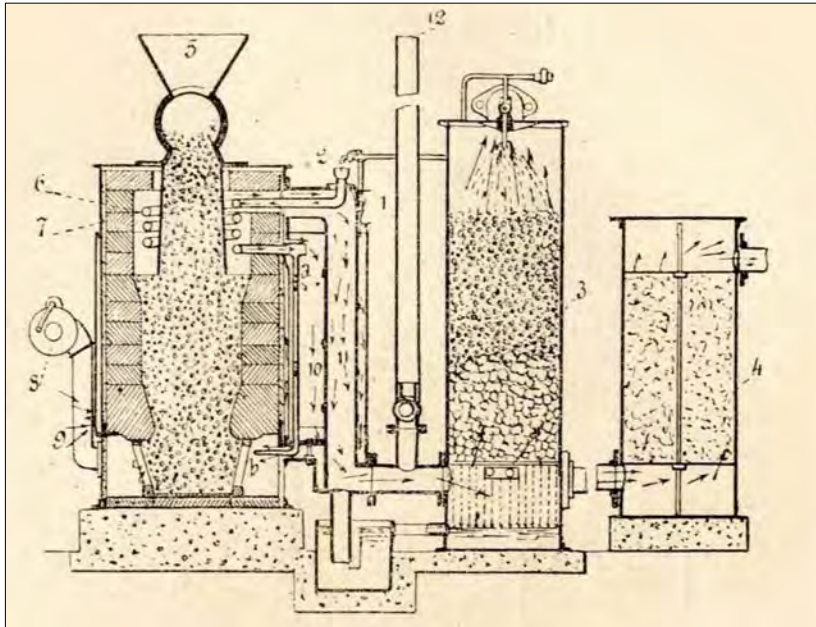


Gasógeno Catier (Marchis, 1908: 113).

En los gasógenos de hogar abierto como el Pierson o el Delion y Lepeu el vapor se producía y calentaba en la base del fuego. A cada inyección el vapor entraba en el hogar al mismo tiempo que al aire pero separado de él y la limpieza del cenicero no afectaba para nada a la calidad del gas producido.

Los inconvenientes que podían ocasionar las cenizas se solían presentar principalmente en los gasógenos de aspiración en que el motor no podía producir más que una débil depresión. En este caso también importaba que los trozos de carbón no fuesen demasiado pequeños a fin de no producir una resistencia al paso del aire y del vapor. La medida aconsejada era la de una avellana es decir de 15 a 30 mm ya que los trozos mayores se pagaban más caros.

La temperatura de los gasógenos era difícil de determinar. Habitualmente se situaba alrededor de unos 1.000°C en la base de la cuba si el combustible era coque y se incrementaba a 1.300 unos centímetros más arriba. En la parte superior, en cambio, oscila entre 500 o 600°C que era la temperatura a la que solían salir los gases. Sin embargo, había fuertes oscilaciones dependiendo de las condiciones de funcionamiento, de la cantidad de agua inyectada y otros factores. Si los gases tenían que alimentar un motor se debían de enfriar previamente. Una forma de enfriarlos era mediante una columna de coque o scrubber en la cual se retenía el polvo pesado que arrastraba. Además el gas contenía trazas de alquitrán que también perjudicaban la marcha de los motores y bloqueaban las válvulas de admisión (Marchis, 1908: 114).



Gasógeno de la Mersey Engine Works C° (Marchis, 1908: 129).

4.6. Gas de hulla y gas de agua

También se utilizó un gas del alumbrado mezcla de gas de hulla y gas de agua. Aunque en algunas ocasiones también contenía mezcla de otros gases. Suele ser habitual que esté compuesto de H_2 (50%), Metano (22%), CO (15%), hidrocarburos (3%), CO_2 (4%), N_2 (6%). Se trata de un gas incoloro que tiene un olor característico que le produce la presencia de hidrocarburos, como el etileno, propileno, acetileno y butileno y también de benzol, responsables de que tenga un buen poder lumínico (Bosko, 1957, 169).

El gas de agua, el gas de aire y el gas de aceite están tremendamente relacionados cuando se trata de producir gas que sea útil para el alumbrado o para la calefacción. Así, el gas de agua no tiene buen poder lumínico por sí mismo debido a la completa ausencia de hidrocarburos, además tiene un poder calorífico bajo comparado con el gas de hulla. Por eso, si se mezcla con gas de alumbrado puro, tanto el poder lumínico como el calorífico se ven afectados. Entonces se hace imprescindible carburar ese gas de agua antes de proceder a su mezcla o bien después de realizada esta.

La carburación de gas de agua se puede realizar en frío mediante benzol o en caliente utilizando aceites de nafta. En el primer caso, para una mezcla de 80% de gas de alumbrado ordinario y 20% de gas de agua, se requerían solo unos 20 gramos de benzol por metro cúbico de gas.

Dellwik fabricó un aparato para carburar en caliente constituido por dos hileras de retortas que se comunicaban por su parte posterior. El gas de agua y el aceite de nafta previamente inyectado se hacían circular por la retorta inferior que se mantenía a unos 700°. El aceite

se volatilizaba y los vapores se mezclaban con el gas de agua dando lugar a una mezcla apropiada en las retortas superiores. El gas de agua carburado por este método contenía un 75% de gas de agua y un 25% de gas de aceite.

Si el destino final del gas de agua carburado era el de ser mezclado con el gas de hulla, entonces se procedía a desarrollar estrategias que redujesen la cantidad de benzol. Una de ellas era enviar el gas de agua al interior del barrilete de manera que barboteara a través del alquitrán y retuviese así parte del benzol allí presente. En países como Francia, no tenían necesidad de ahorrar en benzol porque su precio era bastante asequible pero en España e Italia no sucedía lo mismo por lo que se buscaron medidas tendentes a economizarlo introduciendo el gas de agua directamente en las retortas de destilación. Este método se denomina autocarburación. Así, al principio de la destilación de la hulla se desprenden hidrocarburos pesados que se descomponen en más ligeros por contacto con las paredes incandescentes. En este proceso se depositan sobre las paredes de la retorta unas capas de carbón adherente. Si se introduce gas de agua durante los procesos de disociación de estos hidrocarburos se consigue suprimir prácticamente el depósito de carbón y aumentar así el rendimiento del gas de hulla. Además se carburaba automáticamente el gas de agua al cargarse de hidrocarburos pesados que arrastra fuera de la retorta antes que puedan ser descompuestos. En buena parte de las fábricas de gas de Alemania, a principios del siglo XX se solía aplicar la autocarburación de manera que se obtenía una mezcla de gas de hulla y gas de agua con un poder lumínico no inferior al 44% del que se obtenía por otros procedimientos y en cambio las ganancias superaban el 56% al del proceso de enriquecimiento con benzol (Demenge, 1904: 71-83).

La producción de gas que fuese mezcla de gas de hulla y gas de agua se fue generalizando ya que proporcionaba ventajas considerables. En primer lugar, la rapidez en que se producía el gas de agua permitía a una fábrica de gas una gran elasticidad, de manera que podía hacer frente a variaciones súbitas de consumo. Además, una instalación de gas de agua costaba menos de la mitad y ocupaba menos espacio que una ordinaria. Otra ventaja de la mezcla era el aprovechamiento que se hacía del coque residual de la producción del gas de hulla, de manera que solo se reservaba aquella proporción para que su venta fuese rentable. Si a todo lo anterior añadimos la carburación del gas de agua, la ventaja económica podía resultar mucho mayor ya que en lugar de utilizar el carbón de hulla negro habitual se podía utilizar esquistos bituminosos negros como la ampelita que tenían un precio más bajo y que, además, proporcionaba un coque residual de mejor calidad. A todas estas ventajas había que añadir que la simplicidad del proceso permitía reducir la mano de obra implicada y prescindir de su especialización. El director del gas de Trieste, E. Sospicio, afirmaba que se podía obtener una economía de mano de obra de una tercera parte, de forma que, como consecuencia de todo esto, el precio final del gas obtenido era considerablemente menor (Congrés, 1900:1000).

No obstante, todas estas ventajas solo se daban si el gas de agua se utilizaba como auxiliar de la producción del gas de hulla aunque había algunos ingenieros que proponían reemplazar completamente la fabricación de gas de hulla por el gas de agua. Las recomendaciones de Vautier y Schaefer sobre la necesidad de cambiar todas las canalizaciones y los aparatos de consumo si el gas de agua sustituía al de hulla hicieron desestimar propuestas tan

arriesgadas. Ya que la sustitución de los conductos por unos de mayores dimensiones, de los contadores y de todos los aparatos para el nuevo gas de agua encarecerían este por encima de los beneficios que podía reportar su utilización y sería más rentable mantener el gas de hulla. En el Congreso Internacional de la Industria del Gas que tuvo lugar en 1900 en París hubo un debate sobre la proporción aconsejable de gas de agua en el gas de hulla y se barajaron cifras del 50%, como aplicables sin inconvenientes (Congrés, 1900: 1001).

La principal objeción que se hacía a la mezcla de gas de agua con gas de hulla era el incremento que comportaba de monóxido de carbono que actuaba como veneno de manera que, incluso en pequeñas dosis, era absorbido por la hemoglobina de la sangre provocando, entre otros daños, una larga anemia. En Inglaterra, los comités de higiene fueron muy severos con este gas y, después de muchas consultas a químicos e higienistas solo permitieron a partir de 1898 el uso de una mezcla de gas distribuido al usuario que no superase el 20% de CO. La mezcla de 80% de gas de hulla y de 20% de gas de agua contenía entre un 15 y un 18% de monóxido de carbono y se admitía como apropiada para ser consumida por los usuarios particulares (Marchis, 1908: 24).



5. Nuevos métodos de producción de gas

5.1. Introducción

En los años cincuenta, finalizada la segunda guerra mundial, la fabricación del gas comenzó a ser considerada como una rama de la industria química. La industria gasista de los Estados Unidos seguía con el uso del gas natural y se estaba planteando la utilización del petróleo para obtener un gas de alto poder calorífico que pudiera suplementar al gas natural en determinados momentos de necesidad. En Europa, la industria del gas, que estaba basada principalmente en el uso de la destilación del carbón, también empezaba a utilizar combustibles derivados del petróleo pero para mezclarlos con el gas de hulla y obtener un gas de mayor poder calorífico.

Pero la industria del gas europea fue necesitando tener mayor capacidad de producción para poder abastecer la creciente demanda, que además era mayor en invierno que en otras épocas, o incluso de forma puntual en determinadas horas del día. Las fábricas debían disponer de mayor capacidad de producción pero con un funcionamiento continuo y con una rápida actuación en la puesta en marcha de nueva producción, lo que no era siempre posible, pese a los gasómetros, con los hornos de carbón de retorta, que necesitaban bastantes horas para poder obtener el gas que demandaban los usuarios.

Desde los años 1930 se habían desarrollado nuevos métodos de obtención del gas a partir del carbón, como la gasificación total del

carbón, que se impulsó principalmente en países que disponían de grandes cantidades de carbón. Pero este método, en la práctica no se utilizó demasiado en instalaciones industriales.

Bajo criterios técnico-económicos en el cambio del gas de hulla a otro tipo de gas, lo fundamental era la intercambiabilidad del gas obtenido en uno u otro proceso, entendiéndose que esta característica quedaba definida mediante unos parámetros que debían ser, si no iguales, semejantes para que la combustión fuera correcta y el usuario no notara la diferencia. La densidad del gas, las características de su combustión y el poder calorífico, eran los parámetros esenciales para poder utilizar cualquier gas en los quemadores.

El proceso de gasificación de los aceites minerales es muy antiguo. Se conoce que la primera patente industrial data del año 1815, y fue presentada por J. Taylor en Inglaterra. En el año 1820 ya existía en Liverpool la empresa *Oil Gas Company*. (Malquori, 1956: 9). Algo más tarde, en el año 1932, empezó la distribución de los gases licuados del petróleo: propano y butano que se emplearon directamente en la distribución de gas (Gaz d'Aujourd'hui, 1998, nº 3: 140).

En las fábricas de gas cercanas a las refinerías de petróleo, se comenzaron a utilizar los productos o gases que esta desechaba, para reforzar la composición del gas manufacturado

y aportar mayor poder calorífico. Poco a poco la idea de utilizar los derivados del petróleo para la obtención de gas se fue arraigando y se fueron solventando los problemas tecnológicos, los problemas de origen químico y los problemas de índole físico-química, lo que condujo a una masiva utilización de los derivados del petróleo.

Además del interés por los hidrocarburos pesados para obtener gas, en 1947 funcionaba en la fábrica de gas de Toulouse una instalación de craqueado del gas natural. Este provenía del yacimiento de Saint Marcet, descubierto en 1939, y en esta instalación el gas natural se convertía en gas ciudad mediante procedimientos químicos. El proceso, desarrollado por la empresa francesa *Office National des Industries de l'Azote* (ONIA), se basaba en el craqueado al aire mediante catalizador y se obtenía un gas de entre 1600 a 1800 kcal/m³ que se tenía que enriquecer mezclándolo con el propio gas natural para llegar a las 4.200 kcal/m³, valor de referencia para su distribución a la red de gas ciudad (Journal, 1953:217).

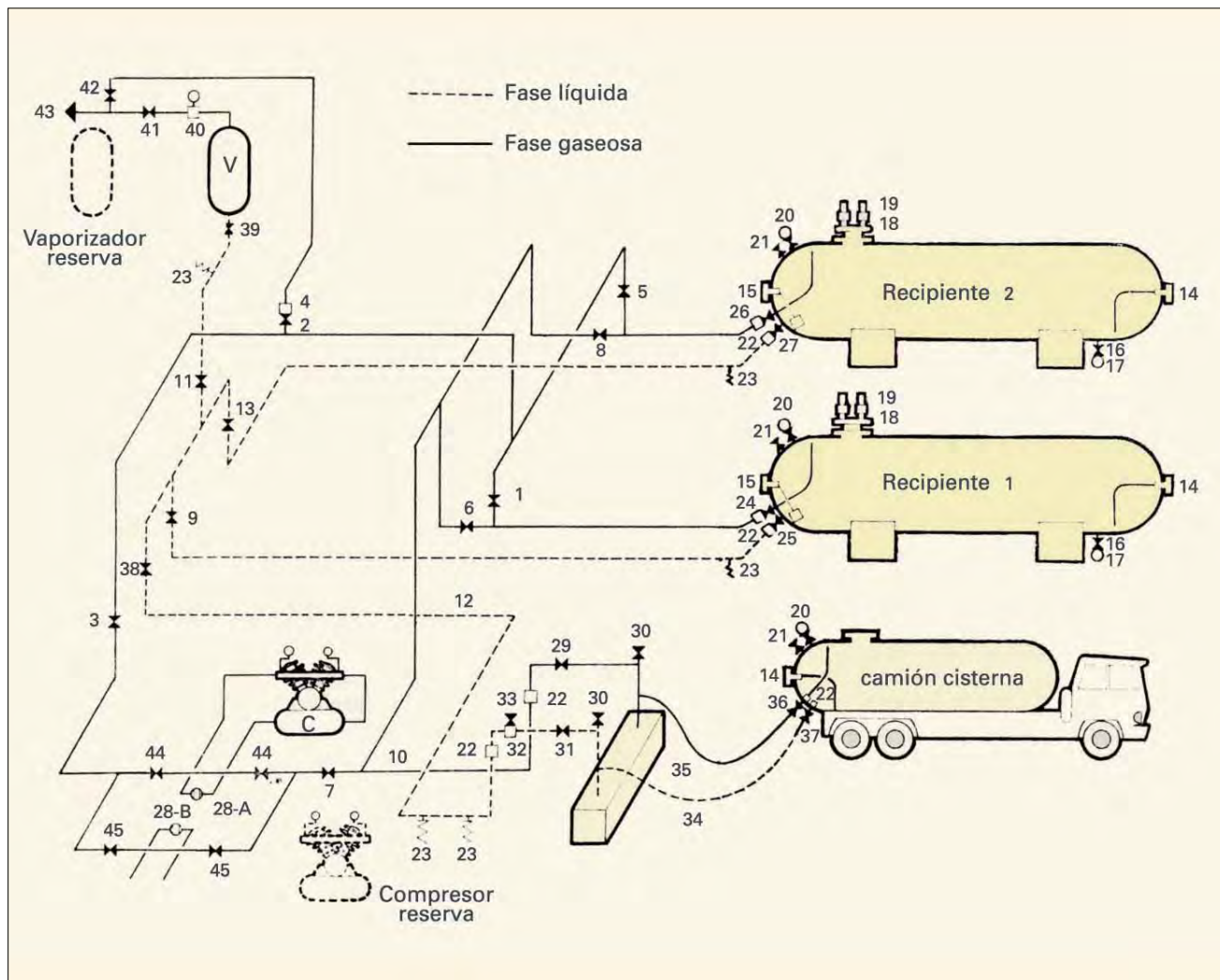
Pero a pesar de esta instalación, las nuevas plantas europeas se basaron en el craqueado térmico de los aceites pesados del petróleo. Estas primeras instalaciones suministraban un gas de alto poder calorífico y los procesos fueron desarrollos de la tecnología química impulsados principalmente por la compañía *Gas Machinery Company de Cleveland (Ohio)* por una parte y por otra la *Office National des Industries de l'Azote* (ONIA) de Toulouse (Francia), junto con la *Société de constructions d'appareils pour Gaz a l'Eau et Gaz d'Industries* (GEGI) de Montrouge (Francia). La primera desarrolló el sistema Hall que se utilizó desde 1953 en la fábrica de gas de Gennevilliers de París (Malquori,

1955:504). La segunda impulsó un sistema propio que se utilizó desde la misma época en la fábrica de gas de Cahors (Francia) (Journal, 1953:215). Otra fábrica de gas, la de Bovisa en Milán utilizó la tecnología *Semet-Solvay* (Malquori, 1959:15).

Todas estas primeras instalaciones de producción de gas de hidrocarburos pesados utilizaban el gas obtenido en el proceso, para enriquecer el gas obtenido por el sistema tradicional de destilación del carbón de hulla que no dejó de fabricarse.

Otro método fue la utilización directa de gas, como es el caso de la fábrica de la Barceloneta, situada en Barcelona. Donde Catalana de Gas y Electricidad ponía en marcha en 1962 una planta que utilizaba propano líquido para vaporizarlo y añadirlo al gas de emisión obtenido a partir de la hulla. No era un avance tecnológico como lo fue posteriormente la aplicación de las líneas de craqueado y reformado de hidrocarburos, pero con el gas añadido se mejoraba el poder calorífico del gas emitido. El propano, con un alto poder calorífico (22.417 kcal/m³ en condiciones Standard) permitía almacenar una gran capacidad calorífica en poco espacio, calculándose que con un depósito de 125 m³ de capacidad permitía almacenar el gas equivalente a 156.000 m³ de gas de hulla, es decir, que con este depósito permitía vaporizar gas propano en la red durante 2,5 días a pleno rendimiento de la fábrica. El gas propano vaporizado se mezclaba en el gasómetro con el gas procedente de las retortas en una proporción de 1/5 (Marquet, 1962: 3-6).

5. Nuevos métodos de producción de gas



Esquema de la instalación de propano en la fábrica de la Barceloneta (Marquet, 1962: 7).

Esta aplicación del propano fue temporal, era un paso intermedio hasta la instalación de las líneas de gasificación catalítica que se instalarían dos años después. En el año 1965 esta instalación ya no funcionaba, ni tampoco los hornos de destilación de la hulla, se trabajaba ya con el gas obtenido por medio de la nafta.

Como producto de entrada para la gasificación catalítica, la industria de gas europea utilizó el gas-oil, el fuel-oil y en algunas fábricas, de forma excepcional, el gas natural. En estos años coincidieron las restricciones de carbón después de la segunda guerra mundial, con la expansión de la industria petrolera. La aparición de productos residuales de los derivados del petróleo, de bajo coste, motivó que estos se fueran utilizando mayoritariamente, en lugar del gas-oil o del fuel-oil, que tenían un coste superior. Se trataba de obtener un gas de alto poder calorífico para incorporarlo al gas de hulla y posteriormente reemplazar completamente este gas. La sustitución fue una decisión avalada por el coste que representaban las instalaciones de craqueado o reformado, con una inversión que no representaba cantidades muy elevadas de capital y porque el rendimiento térmico del proceso era del orden del 90%. En definitiva, era mucho más rentable producir gas a partir de derivados del petróleo que por otro método, que también se había desarrollado para obtener gas, el de la gasificación total del carbón, cuyos procesos eran similares pero más costosos.

Así pues, la sustitución del carbón por los derivados del petróleo, representó una renovación total de la tecnología gasista y un avance destacado en la capacidad de producción de gas de las fábricas. Téngase en cuenta que todos los métodos que se fueron

implantando producían un gas que no estaba libre de impurezas. Además de los productos químicos como el anhídrido sulfúrico (H_2S) o el amoníaco (NH_3), el gas contenía polvo, hollín, humedad, que debían ser eliminados igual como en el proceso de elaboración del gas por destilación del carbón. Naturalmente, la proporción de impurezas dependía del tipo de hidrocarburo que se gasificase o de los mecanismos de control del proceso utilizado y por supuesto de su eficacia. Ante esta presencia de impurezas, el gas debía pasar por un lavado y filtrado, procesos que ya se han tratado en el capítulo 3 y que no difieren de los que se siguieron utilizando en la etapa del gas de hidrocarburo.

5.2. La gasificación del carbón

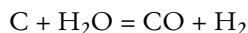
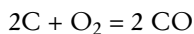
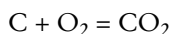
Como ya se ha indicado repetidamente, la industria del gas ha utilizado desde sus inicios el carbón como primera materia para obtener el gas manufacturado. La transformación del carbón se ha basado, tal como hemos visto en los capítulos anteriores en su destilación, de la cual se obtiene, además del gas, otro carbón, el carbón de coque que aún contiene una parte importante de la energía que contenía el carbón inicial. Este carbón no se ha considerado nunca un subproducto de la industria del gas sino que ha sido comercializado y su potencial energético ha terminado usándose en la industria, principalmente la metalúrgica.

Sin embargo el desarrollo de la química orgánica ha permitido establecer nuevos métodos para transformar completamente el carbón en gas. Estos métodos se han basado en la partición de la gran molécula que es el carbón, en un

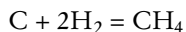
grupo de moléculas de menor tamaño, lo que se conoce en petroquímica como craqueado. La gasificación integral del carbón ha sido una nueva tecnología nacida de la experiencia, que ha permitido obtener no solo los productos volátiles que se obtendrían en la destilación sino también y a la vez, la transformación total del carbón de coque en gas. La gasificación total de los lignitos o las hullas, que son los carbones que mejor se adaptan en una sola operación da como resultado una mezcla de gases, entre los que destacan como gases combustibles el hidrógeno, el monóxido de carbono y otros hidrocarburos.

El precedente más directo de esta tecnología de gasificación fue el gas de agua, donde el carbón era carbonizado de forma continua en retortas verticales y el coque resultante se introducía en un generador con vapor de agua dentro del cual se gasificaba completamente.

Las principales reacciones que intervienen en la gasificación son la oxidación y la hidrogenación, ambas imprescindibles para la obtención del gas monóxido de carbono y del gas hidrógeno:



También la reacción de hidrogenación permite conseguir el gas metano:



Todos los procedimientos de gasificación tratan de ejercer sobre el carbón tres operaciones: primero una oxidación para producir el calor necesario y mantener la temperatura en la cual las reacciones se pueden mantener; segundo transmitir este calor a todo el conjunto del recipiente y material a

tratar y, tercero desencadenar las reacciones entre los componentes para producir los tres hidrocarburos gaseosos combustibles CO , H_2 y CH_4 de forma que las reacciones anteriores, que son reversibles, se efectúen en el sentido deseado.

Sin embargo el carbón tiene una composición molecular muy compleja en la que interviene, además del carbono (C), el hidrógeno (H), el oxígeno (O), el nitrógeno (N), el azufre (S) y el cloro (Cl) y por tanto las reacciones anteriores no deben de considerarse únicas y los resultados de una descomposición o craqueado del carbón tendrán más componentes que los citados. Dependerá también del contenido en minerales, de las características de los mismos, y lo que al final quede como cenizas.

Parece ser que los primeros sistemas de gasificación total fueron utilizados en la industria del hierro y del acero ya en la primera mitad del siglo XIX. Así, por ejemplo, un sistema de producción de gas fue desarrollado en 1861 por los hermanos Wilhelm y Friedrich Siemens como complemento a su desarrollo del horno de afino para obtener acero, inventado en 1856. El aire necesario para la combustión se obtenía por el tiro natural de la chimenea del horno al que estaba conectado (American Gas Association, 1965: 3/40).

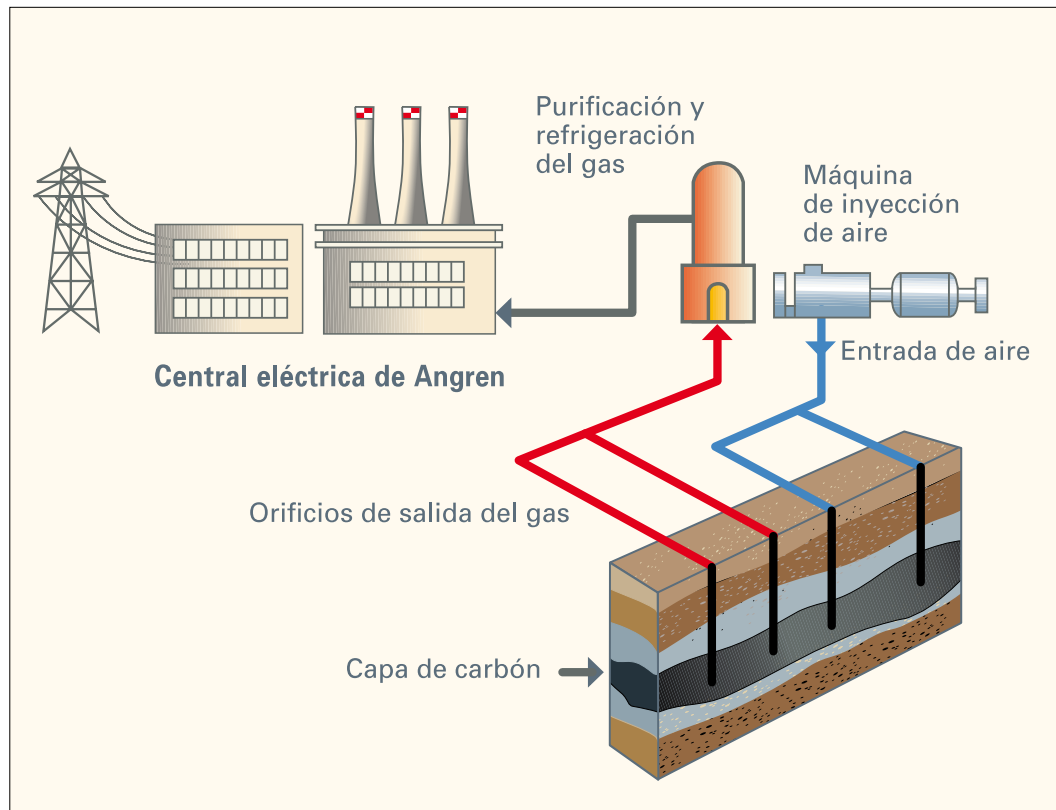
El principal inconveniente de este equipo y otros que le siguieron, era la dificultad en la limpieza de los fondos de escoria que quedaba de las operaciones con el carbón, lo que dio lugar al desarrollo de hornos con sistemas de limpieza rotatorios.

La ciudad de Viena tuvo la primera planta de gasificación que se construyó en Europa. Que se conoció con el nombre de gas Strache.

5.2.1 La gasificación subterránea

La idea de gasificar el carbón “in situ” fue sugerida, parece que por primera vez, por William Siemens en una comunicación presentada en 1868 en Londres. Pero a pesar de que fue en Gran Bretaña donde se empezó a proyectar, a principios del siglo XX, una planta experimental bajo una forma similar al proceso industrial desarrollado por la sociedad *Lurgi*, esta no se llegó a realizar. Años después, fue en Rusia cuando se empezó a considerar

seriamente esta posibilidad y en 1928 tuvo su primera aplicación industrial en Horlikva (Ucrania). El método utilizado en Horlivka fue el de excavar dos galerías paralelas y conectarlas mediante una tercera galería. En esta tercera galería se originaba la combustión del carbón que se mantenía mediante una corriente de aire o aire enriquecido con oxígeno lo que permitía obtener el gas que se conducía por las galerías paralelas y se recogía en la superficie. Las capas de carbón estaban situadas a una profundidad



Esquema de funcionamiento de la central de Angren (Uzbekistan).
(<http://ucg-uz.by.ru/ucgen.htm>).

menor de 300 metros y se trabajaba a baja presión.

En los años treinta se realizaron otros ensayos y en los años cuarenta la empresa estatal soviética *Podzemgaz* efectuó nuevos ensayos en varias zonas del país, primero con instalaciones piloto y posteriormente con instalaciones industriales. En los años sesenta disponía de unas 14 plantas de gasificación subterránea, la más importante de las cuales aún funciona en la

ciudad de Angren, en Uzbekistan, que explota, desde 1961, una capa de lignito de 15 a 20 m de ancho y a una profundidad de 130 a 300 m. El gas obtenido se consume en la central eléctrica situada en la misma planta.

En Angren la gasificación se efectúa mediante la inyección de aire a presión hacia la capa de carbón. El gas producido por la combustión del carbón, a una temperatura de entre 150 y 350 °C, se enfría y se le elimina el polvo en

Cuadro 5.1. Composición del gas obtenido en Angren

CH ₄ (Metano)	2,2 – 3%
C _n H _m (Etano y superiores)	0,2 – 0,3%
H ₂	22,0 – 22,2%
CO	4,0 – 7,0%
CO ₂	20 - 22%
O ₂	0,3- 0,5%
N ₂	44,4 - 50,6%

Fuente: <http://ucg-uz.by.ru/ucgen.htm>

suspensión antes de alimentar la caldera de vapor de la central eléctrica.

La tecnología de gasificación subterránea del carbón se basa en la construcción de dos pozos perforados desde la superficie hacia la capa de carbón, uno para la inyección de los oxidantes, el otro para extraer el gas producido. La capacidad del carbón para permitir el paso del gas a través de la capa depende de su composición y de la historia geológica del yacimiento. El primer método de perforación

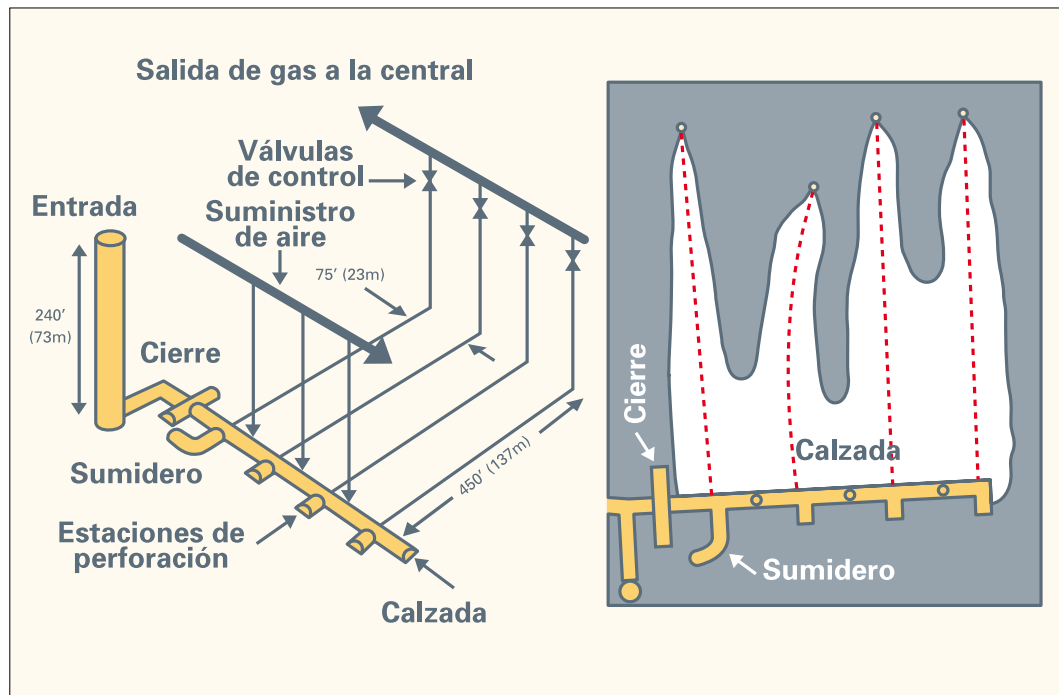
fue el que se realizó en la Unión Soviética, que utilizaba pozos verticales.

También en Estados Unidos, en los años 1940 y 1950, se realizaron experimentos acerca de la gasificación subterránea en la población de Gorgas (Alabama) con resultados poco satisfactorios. El método utilizado fue similar al de Rusia, se efectuaban dos perforaciones en la capa de carbón y se conectaban entre sí mediante una galería de cruce. La combustión se iniciaba en un agujero y la gasificación se

conducía a la galería de cruce.

Algunos países europeos empezaron a estudiar también las posibilidades que ofrecían sus yacimientos. Se trataba de conocer el sistema de explotación de esta técnica en yacimientos de poca profundidad, cual era el riesgo de fugas del gas producido, así como si la contaminación de los acuíferos era asumible. En Bélgica se efectuaron pruebas en Bois-la-Dame, en el año 1948 y en Marruecos en 1949 en Djerada, pero esta tecnología no avanzó lo suficiente y quedó estancada por las dificultades del proceso. Con estos antecedentes, en un congreso celebrado en

Estados Unidos en 1952, se examinaron los resultados de la gasificación subterránea y se concluyó que su aplicación aún estaba lejos de ser posible. En 1950 en Gran Bretaña se había iniciado un experimento en Newman Spinney, en el condado de Bayton, con una instalación piloto que tenía un cierto número de pozos de 2,40 metros de diámetro y entre 40 y 100 metros de profundidad en la base de los cuales se cruzaba una galería que seguía la beta de carbón y en la cual también se habían perforado galerías horizontales. El gas tenía un poder calorífico de 950 kcal/m³ y el experimento terminó en 1958. Años después, en Francia se efectuó otra experiencia similar



Esquema de funcionamiento de Newman Spinney (Gran Bretaña)
(Beath Andrew and Davis Burl, 2006: slide 11).

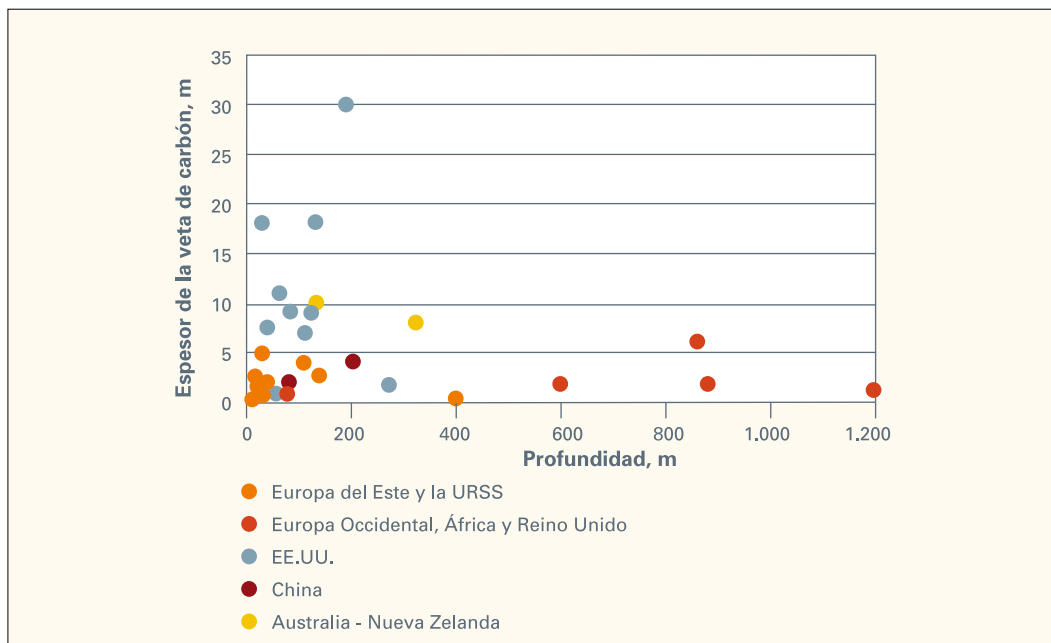
en Bruay-en-Artois en 1980 y también se volvieron a efectuar nuevas pruebas de gasificación subterránea en Thulin (Bélgica), en 1987.

Con la evolución de la tecnología de perforación apareció un segundo método consistente en que las perforaciones eran enfocadas directamente dentro de la capa de carbón, cosa que permitió que los pozos de inyección siguieran la beta carbonífera para poder obtener así mayor rendimiento del proceso. Este método se empleó en 1989 en el proyecto de gasificación subterránea del carbón impulsado por la Unión Europea, con una prueba que se inició en España en 1992

en la localidad de Alcorisa, en la provincia de Teruel. La empresa *Underground Gasification Europe* en la que participaron organizaciones de España, Bélgica y Reino Unido, fue la responsable de esta prueba piloto. Se perforaron unos pozos que alcanzaban y recorrían la capa de carbón, situada a unos 600 metros de profundidad con una inclinación de 30 grados. En ellos se inyectó oxígeno a presión junto con vapor de agua que, al reaccionar con el carbón, producía el gas. Los pozos de inyección interseccionaban con otro por el que subía el gas a la superficie. La prueba finalizó en 1999 con resultados satisfactorios.

El carbón bituminoso de Teruel era apropiado

Gráfico 5.1. La gasificación subterránea



(Beath, Andrew and Davis, Burl, 2006: slide 5).

para el experimento y los resultados preliminares proporcionaron un gas con un alto contenido en metano, hidrógeno y monóxido de carbono, con un poder calorífico medio de 10,1 Megajulios/kg. El ritmo de producción fue de 2,5 megavatios, con máximos de 7,5 megavatios (*El País*, 6-5-1998).

Varios países han continuado estudiando la gasificación de yacimientos de carbón, más o menos profundos, a pesar de que puedan tener mayor o menor riesgo de fugas por el tipo de rocas entre las que se encuentren. China es uno de ellos, empezó en los años 1980 con un gran proyecto de gasificación operando mediante la inyección de aire y agua en minas de carbón en desuso, cuya combustión permitía obtener gas hidrógeno. También Australia y Sudáfrica con reservas de carbón han trabajado en este campo de investigación con proyectos piloto en distintas fases de operación.

El gráfico 5.1 muestra como era la situación de los ensayos y actuaciones industriales de la gasificación subterránea en las distintas partes del mundo a finales de 2006.

Actualmente la gasificación subterránea del carbón sigue siendo una aplicación latente de la tecnología vinculada con la obtención de gas combustible y su desarrollo es pequeño. Probablemente lo será mientras la extracción de combustibles fósiles tenga un coste menor que la gasificación subterránea.

5.2.2. La gasificación en planta

En lo que se refiere a procedimientos industriales, varios han sido los procesos de gasificación que se han desarrollado. En los años 1950 los más significativos eran los denominados: Lurgi, Koppers y Winkler, entre otros. Cada uno se caracterizaba tanto por el sistema de introducción de los elementos reactivos como por el sistema mecánico

Cuadro 5.2. Composición típica del gas resultante de la gasificación del carbón (en % de volumen)

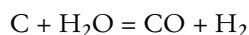
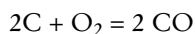
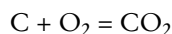
CH4 (Metano)	entre 0 y 12%
CnHm (Etano y superiores)	entre 0 y 1%
H2	entre 20 y 60%
CO	entre 12 y 60%
CO2	entre 5 y 35%
O2	entre 0 y 1%
N2	entre 1 y 40%
H2S	entre 0,5 y 3%

Fuente: Table ronde, 1983: 109.

utilizado para eliminar con la mayor facilidad las cenizas que presenta el carbón.

En todos los procesos, la oxidación del carbón es el mecanismo base para la gasificación. En esta reacción el oxígeno produce un “quemado” del carbón y genera monóxido de carbono (CO) o dióxido de carbono (CO₂), según las condiciones del entorno reactivo.

Las reacciones base siempre son las mismas



La mezcla de carbón y vapor de agua se trabaja con sistemas que presenten la mayor turbulencia posible en el reactor para que de esta forma los reactivos estén más unidos y la reacción se efectúe con mayor intensidad. La formación de hidrógeno se debe al efecto reductor del vapor de agua, una reacción que, normalmente, se efectúa en menor proporción que la oxidación.

Es decir, que el gas resultante tiene mayor tendencia a ser un gas rico en hidrógeno y monóxido de carbono, que en metano. El

resultado depende quizás menos del tipo de carbón a gasificar, que del método de gasificación utilizado y de la temperatura y presión a que se somete la mezcla dentro del reactor. En realidad la gasificación del carbón no solo se ha utilizado para obtener un gas equivalente al gas ciudad, sino también para poder obtener gas natural u otros productos químicos como el amoníaco o el metanol.

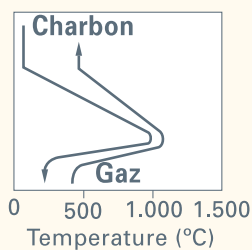
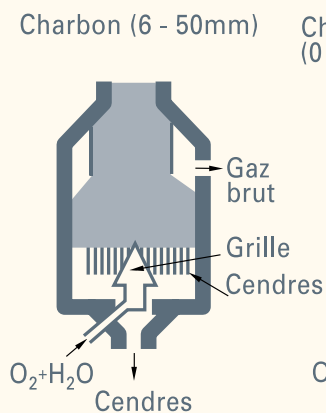
En cualquier caso el gas resultante, aparte de ser enfriado, debe ser liberado del polvo de carbón que presente, de sus componentes de azufre, se debe también eliminar el dióxido de carbono (CO₂). Finalmente si el gas es adaptado al uso a que se destine. Así, se trata de adaptarlo al gas ciudad se hace mediante la conversión del monóxido de carbono (CO) en hidrógeno (H₂); si se trata de aproximarlos al gas natural, mediante la conversión del CO en metano (CH₄).

En los tres métodos antes citados lo más importante es una buena mezcla del carbón con los agentes activadores de la reacción. Para ello se han utilizado varas técnicas que se denominan: “lecho fijo”, “lecho fluido”, etc. Esta denominación responde al sistema de mezclado del carbón con el oxígeno y vapor

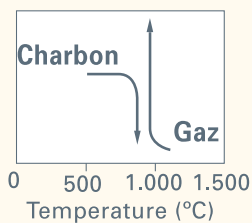
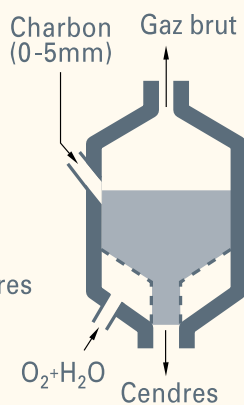
Cuadro 5.3. Comparación de los tres principales métodos de gasificación del carbón

Denominación del método	Lecho fijo	Lecho fluido	Lecho arrastrado
Proceso característico	Lurgi	Winkler	Koppers
Temperatura de reacción	500 a 1.100 °C	900 a 1.100 °C	900 a 1.700 °C
Duración del carbón en el reactor	de 1 a 3 horas	Una media hora	Unos segundos
Formación de metano	del 10 al 15 %	del 1 al 3 %	casi nula
Formación de asfaltos	si	es posible	no
Consumo de vapor	elevado	mediano	moderado

Lit fixe
(Lurgi)



Lit fluidise
(Winkler)

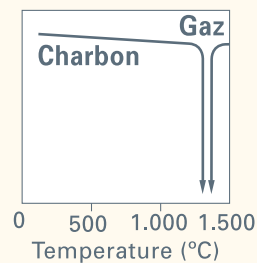
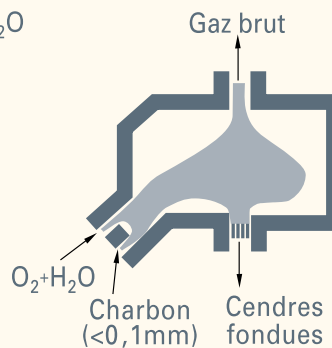


Lit entraine

(Texaco)



(Koopers-Totzek)



Diferentes concepciones del reactor de gasificación y la distribución de temperaturas del reactor en vertical
(Table ronde, 1983: 19).

de agua en el reactor, y bajo el cual se obtienen una distinta proporción de componentes del gas, como se refleja en la tabla y se detalla en la explicación posterior de cada uno de los procesos.

5.2.3. El proceso Lurgi

Este proceso consiste en gasificar lignito en polvo mediante la aportación de oxígeno y vapor de agua recalentado, ambos a presión. Estos se introducen por la parte inferior de un recipiente cilíndrico que tiene una parrilla rotativa donde se produce la reacción continuada de transformación del carbón en gas. Fue ideado en Alemania en los años 1930 para obtener un buen rendimiento del carbón al transformarse en gas.

La relación entre el oxígeno y el vapor de agua de entrada producen una regulación entre el hidrógeno y el monóxido de carbono en el

gas resultante, así como también se regula la cantidad de escoria obtenida. También la elevada presión a que se trabaja facilita la interacción entre el hidrógeno y el carbón produciéndose el gas metano. La reacción es endotérmica cuando el vapor de agua es dominante y además permite controlar la temperatura para llegar a la fusión de las cenizas que contiene el carbón. No obstante al no tener otra aportación de calor externa que la del vapor de agua, la temperatura sufre un descenso rápido fuera del punto de reacción, lo que favorece el menor desgaste del reactor. En este proceso el resultado final depende de los equilibrios entre las reacciones que se forman en el reactor, de la presión de trabajo y del contenido en cenizas del carbón.

Este proceso permite obtener el gas para su emisión a la distribución. Una prueba realizada en la fábrica de Most (Checoslovaquia) con lignitos de 4.670 kcal/kg daba esta composición: (Journal, 1953:213).

Cuadro 5.4. Componentes del gas obtenido en el proceso Lurgi

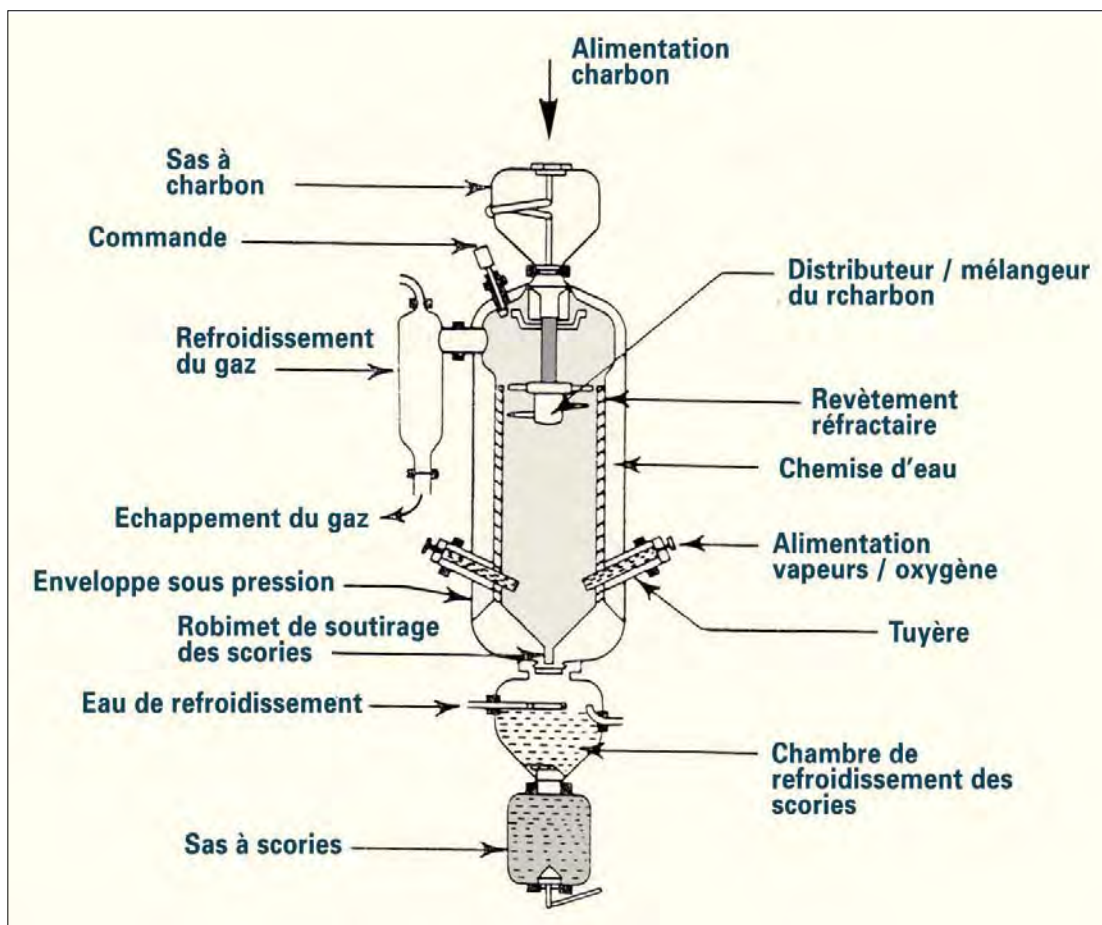
Componentes	(valores en %)
CH ₄ (Metano)	17,0
CnHm (Etano y superiores)	0,2
H ₂	60,8
CO	18,7
CO ₂	1,9
O ₂	0,2
N ₂	1,2

5.2.4. El proceso Winkler

Este proceso se diseñó en Alemania en los años 1940 para gasificar carbones de bajo poder calorífico. El carbón finamente pulverizado se mantiene en agitación constante por el paso del oxígeno y el vapor de agua en sentido

ascendente y a la presión atmosférica, de forma que la mayor o menor movilidad condiciona el resultado. En sus inicios en lugar de oxígeno se utilizaba aire pero el rendimiento del proceso era bajo.

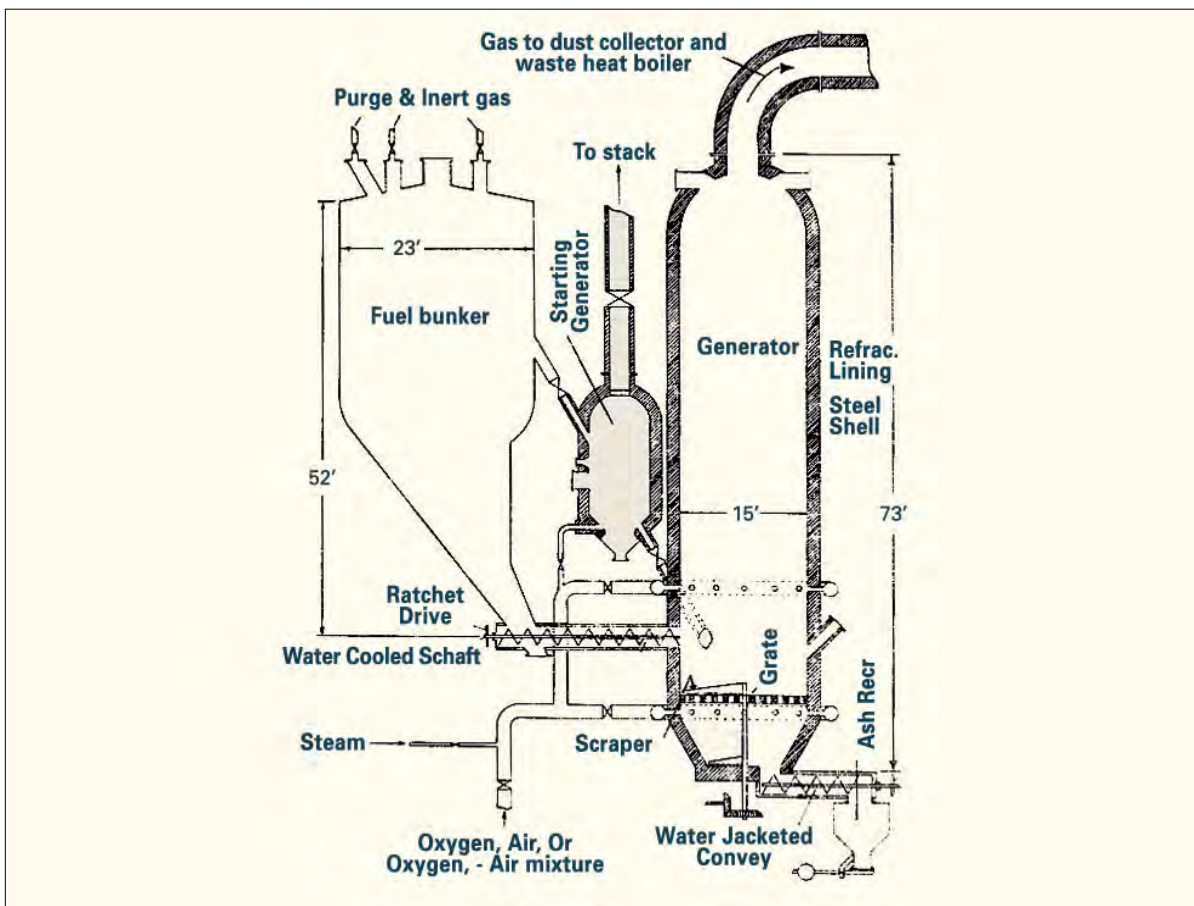
En la cámara de reacción se introduce el carbón pulverizado procedente del depósito (fuel



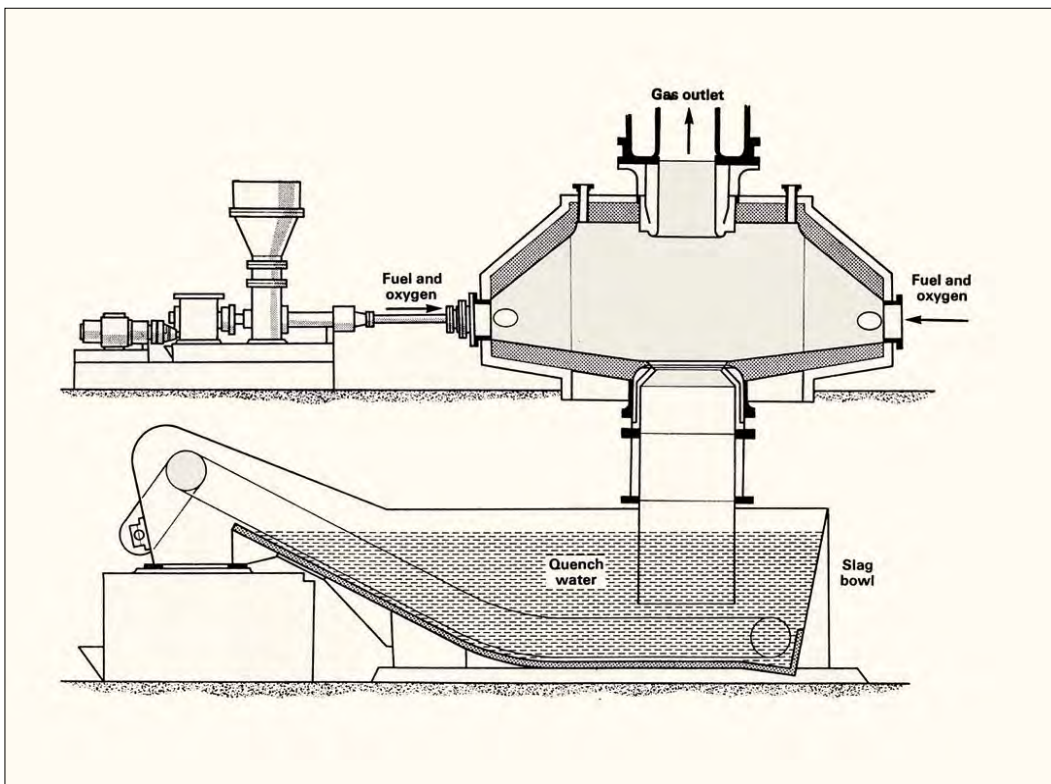
Proceso Lurgi (Table ronde, 1983: 32).

bunker). El oxígeno se introduce junto con el vapor de agua en el mismo nivel y la reacción tiene lugar en la parte media del reactor. También se insufla oxígeno por la parte baja de la parrilla. Las cenizas (ash) se depositan en la parte inferior de la cámara de reacción. A diferencia del proceso Lurgi de lecho fijo, en este proceso no hay zonas de diferente

temperatura, correspondientes a las reacciones endotérmicas o exotérmicas, si no que esta se mantiene constante en todo el conjunto de la cámara de reacción. En este proceso se obtiene un buen rendimiento con lignitos y un mal rendimiento con carbones con mucha ceniza. El gas junto con partículas (dust) se recoge en la parte superior.



Proceso Winkler (American Gas Asociation, 1965: 3/107).



Proceso Koppers-Totzek (British Petroleum, 1972: 38)

Cuadro 5.5. Componentes del gas obtenidos en el proceso Koppers-Totzek

Componentes	Valores en %
CH ₄ (Metano)	0,1
C _n H _m (Etano y superiores)	0
H ₂	31,1
CO	55,3
CO ₂	11,9
SH ₂	0,3
N ₂	1,3

5.2.5. El proceso Koppers-Totzek

El proceso Koppers-Totzek se destaca por gasificar el carbón a presión atmosférica mediante oxígeno y vapor de agua. El carbón se introduce en forma pulverulenta mezclado con el oxígeno mediante toberas en diversos puntos de una cámara de reacción de forma que se origine la suficiente turbulencia para que se mezcle con el vapor de agua que penetra en el reactor por otras toberas inferiores.

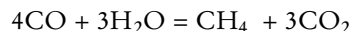
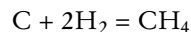
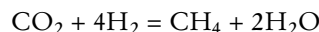
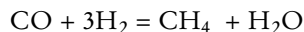
El gas a la temperatura de 1.100 °C o más se desplaza hacia la parte superior de la cámara donde se recoge. La reacción que se genera proporciona un gas que no presenta alquitrán ni hidrocarburos en su composición pero su alto contenido en monóxido de carbono hace que este sea más aprovechable para la industria que para ser distribuido como gas ciudad.

5.2.6. Técnicas de gasificación para obtener gas natural de síntesis

La gasificación del carbón ha sido una técnica que ha evolucionado al mismo tiempo que los métodos de gasificación de los hidrocarburos y la base principal de obtención de gas es la oxidación y la hidrogenación. La tendencia principal ha sido aplicar los métodos de gasificación para obtener gas de bajo poder calorífico, para adaptarlo al sistema de distribución de gas ciudad y su uso como combustible intercambiable con el gas de hulla.

Pero también la gasificación del carbón permite obtener un gas de alto poder calorífico, con gran contenido en metano, que se ha convenido en llamarlo gas natural de síntesis (GNS). La principal característica del proceso

consiste en estimular la obtención de metano mediante cuatro reacciones químicas básicas aplicando hidrógeno a los dos componentes que surgen del proceso de gasificación normal del carbón, es decir el monóxido de carbono y el dióxido de carbono (CO y CO₂), y al propio carbono libre (C) que también aparece en las reacciones. También se aplica vapor de agua en determinadas condiciones, y al conjunto del proceso se le conoce con el nombre de hidrogasificación:

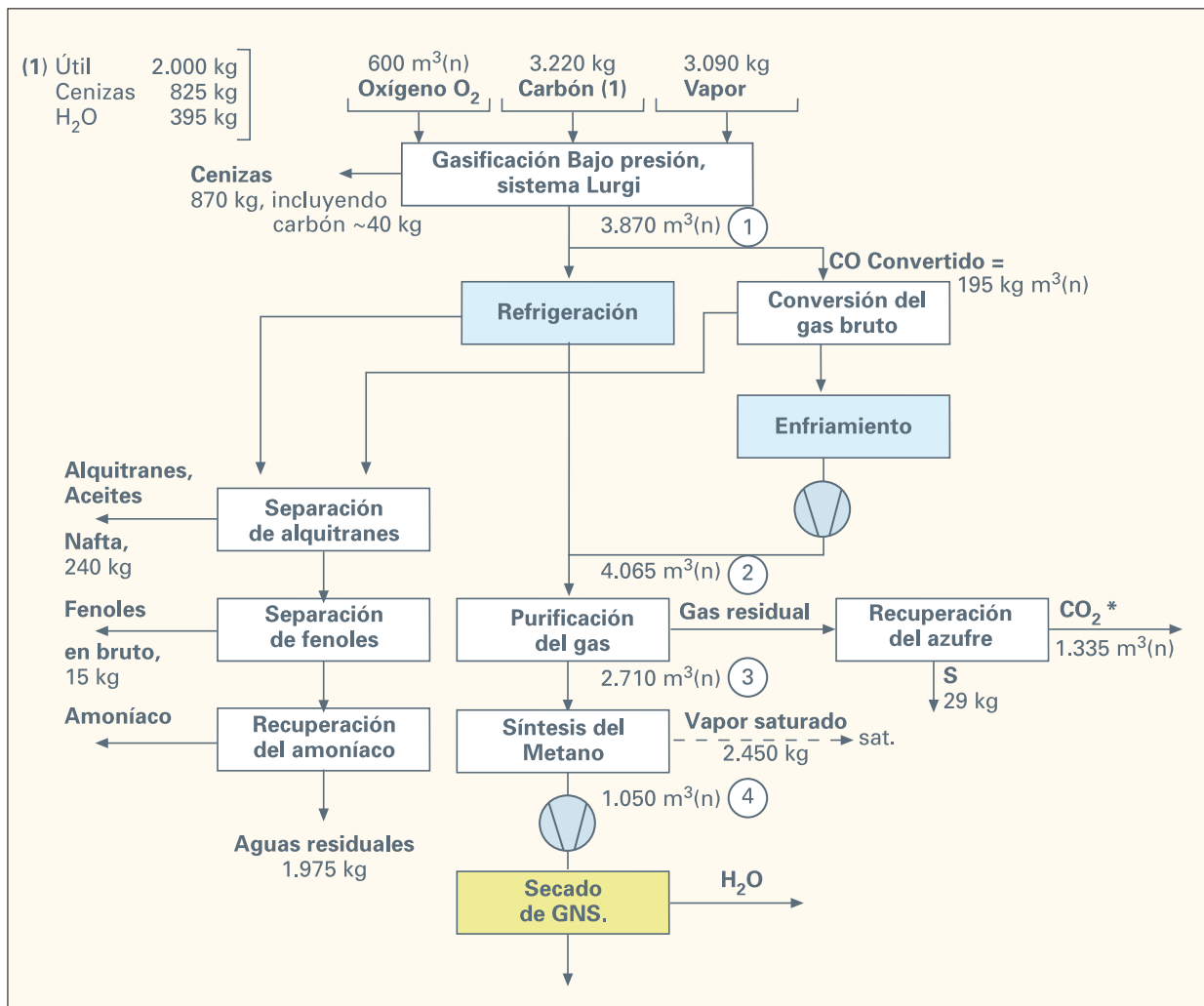


Las reacciones de producción de metano son extremadamente exotérmicas, es decir con gran generación de calor, por lo que la temperatura debe ser limitada adecuadamente dentro del reactor, de lo contrario queda afectado el catalizador el cual disminuye su actividad. Cabe decir que el desarrollo de la tecnología vinculada con la obtención del gas natural de síntesis a partir del carbón ha sido destacado, principalmente en aquellos países con abundante reservas de carbón y pocas reservas de gas natural.

Uno de los procesos desarrollados en los años sesenta fue el denominado HYGAS que diseñó el *Institute of Gas Technology*, de Chicago. Tenía tres operaciones distintas, la primera consistía en dejar el carbón parcialmente oxidado mediante la aportación de aire en un horno a una temperatura de 400 °C; posteriormente se procedía a la hidrogasificación mediante dos hornos de

lecho fluido puestos en serie y trabajando a una presión de 77 bar, en esta fase se originaban los compuestos CO y H_2 y en la tercera fase se hacían reaccionar los dos componentes mediante

varias etapas a alta temperatura para fomentar la formación de metano. El resultado era un gas con un contenido del 90% en metano. (British Petroleum, 1972: 46).



Esquema de una transformación de carbón en gas natural de síntesis (Table ronde, 1983: 138).

Otro procedimiento fue el que desarrolló la empresa Exxon mediante la utilización de carbón mezclado con potasio (P) que actuaba como catalizador de la reacción de metanización. El reactor, que utilizaba la técnica de lecho fluido se calentaba a una temperatura de 700°C y dos de los productos que se obtenían, el hidrógeno (H₂) y el óxido de carbono (CO) se volvían a introducir en el reactor para fomentar su conversión en metano.

Estos procesos, como hemos citado anteriormente, presentaban su punto crítico en el control de temperatura que debía aplicarse al catalizador, un elemento vital para estimular la reacción, pero a la vez frágil a temperaturas elevadas. Algunos de los procesos quedaron en su fase experimental y otros fueron puestos en marcha con unidades piloto, todos tenían como objetivo lograr la conversión del carbón en un gas comercial y conocido, el metano, pero en la práctica el proceso no era tan simple como aquí se ha presentado, los inconvenientes del coste energético del proceso, del rendimiento obtenido, del coste de la planta y del comportamiento del conjunto fueron etiquetando esta tecnología, en los años ochenta, como válida pero mejorable, aunque apta para llegar a atender las necesidades energéticas futuras. El gas natural de yacimiento se presentaba con una mayor capacidad energética y a un coste inferior.

Como referencia se expone a continuación un esquema de obtención de gas natural de síntesis mediante el método Lurgi en el cual de 3.220 kg de carbón se obtenían 1050 m³ de gas, aparte de otros subproductos. Al salir del reactor, en la posición 1, el porcentaje de metano en el gas resultante era solo del 11,23%, mientras que al final de proceso, en la posición 4 era del 95,28%.

5.3. Bases tecnológicas del uso de los hidrocarburos del petróleo

Como ya se ha indicado anteriormente, el proceso utilizado para la gasificación del carbón también se puede utilizar con el petróleo o los hidrocarburos líquidos, pues aparte de ser más fáciles de transportar, poseen una característica que los hace más afines a las reacciones de descomposición. También la relación entre el hidrógeno (H) y el carbón (C) que presentan es normalmente menor que en el carbón.

El origen del petróleo (recordemos su etimología del latín: *petra*, piedra y *oleum*, aceite) también se debe, al igual que el carbón, a la descomposición de materiales orgánicos de origen marino. Las bolsas de petróleo se encuentran en los estratos superiores de la corteza terrestre entre capas de rocas impermeables. Se distinguen tres capas, la de agua salada, la de los componentes hidrocarburos líquidos (el petróleo) y la de los hidrocarburos gaseosos, es decir lo que se conoce como gas natural. La composición química del petróleo depende del lugar de donde procede, pero siempre es una mezcla de cientos de hidrocarburos. Sus componentes principales quedan encuadrados en tres familias distintas: los hidrocarburos llamados alifáticos (saturados y no saturados), los hidrocarburos aromáticos, las parafinas y los naftenos. En algunos petróleos dominan los alifáticos, en otros los nafténicos, y en unos pocos los aromáticos. También contiene componentes derivados del azufre, así como compuestos del oxígeno y de nitrógeno, y en ínfima proporción, metales.

Como información adicional hay que decir que se conoce que el petróleo se empleaba ya en 1850 en Estados Unidos, y que en 1859 se hizo

Cuadro 5.6. Descomposición del petróleo por craqueado

Denominación de la fracción	Intervalo de ebullición
Gasolina ligera	25-100 °C
Nafta	100-150 °C
Keroseno	150-230 °C
Gas-oil	230-350 °C
Residuo	Mas de 350 °C

la primera perforación de un pozo de 23 metros de profundidad en Titusville (Pensilvania) a partir de la cual empezó a proliferar la extracción en Estados Unidos. También en países como Rusia y Rumanía se efectuaron perforaciones y obtención de petróleo. (Breton Mortier, 1934:153). El petróleo se utilizó entonces para obtener productos combustibles y aceites minerales. Poco a poco fue naciendo la industria petroquímica que favoreció el desarrollo de la química orgánica. En 1901 se descubrieron grandes yacimientos en Spindletop (Texas) y el petróleo se orientó principalmente para suministrar el desarrollo de carburantes que la naciente industria del automóvil empezaba a utilizar, (Cardelús, 1960:6).

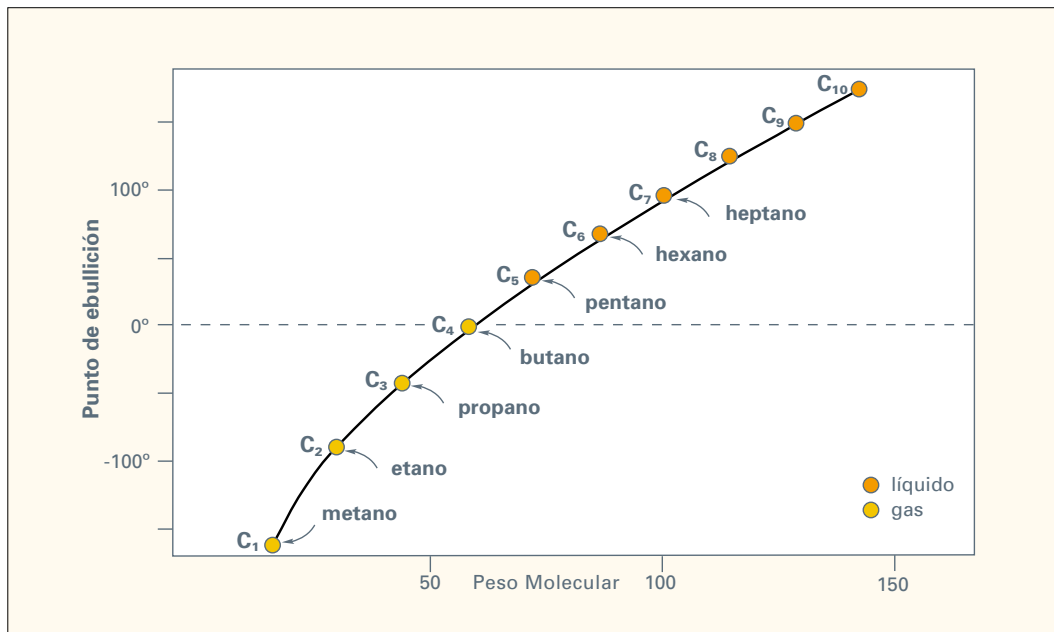
Una de las reacciones importantes de la química orgánica es la descomposición térmica del petróleo mediante destilación fraccionada. Con ella se pueden obtener los distintos elementos que constituyen su composición, unos combustibles y otros no combustibles, que tienen sus aplicaciones en la industria química o en otras industrias. La tabla que sigue muestra los productos más significativos de esta destilación fraccionada, que se efectúa a la presión atmosférica. El residuo se destila de nuevo al vacío mediante aportación de vapor y se obtienen otros productos como los aceites lubricantes. La tabla solo refleja la fracción más significativa,

pero podrían hacerse más fracciones de las que aquí se indican, por ejemplo se obtienen hasta cinco tipos de gasolina, dos tipos de keroseno o dos tipos de gas-oil. La descomposición de los distintos productos del petróleo, que son mezclas de hidrocarburos, en hidrocarburos elementales es la operación que se conoce como “cracking”, o craqueado y por tanto entra dentro de las bases de la química orgánica, en la que las reacciones de descomposición del carbón que se han descrito anteriormente también están incluidas.

La base del uso de los derivados del petróleo para la fabricación de gas viene de la constatación de que algunos de estos compuestos orgánicos tienen la posibilidad de ser divididos fácilmente en componentes elementales de menor peso molecular y favorecer así su paso a estado gaseoso por una transformación mediante aportación de calor. Sería esta una forma más fácil de obtener el gas manufacturado precisamente porque estos compuestos orgánicos tienen una composición química cuya relación molecular entre el hidrógeno (H) y el carbono (C) es superior a la del carbón. Por ejemplo, en el carbón la relación entre H y C es alrededor de 1, mientras que en la gasolina se encuentra entre 2 y 3, valor que la sitúa como una alternativa más viable que el carbón para la obtención de gas manufacturado.

Un grupo de compuestos orgánicos situados

Gráfico 5.2. Hidrocarburos alifáticos: alcanos



dentro de los llamados hidrocarburos alifáticos son los alcanos, cuyo compuesto más sencillo es el metano CH_4 , que es precisamente el componente principal del gas natural. Es decir, el binomio gas natural y petróleo que se encuentra en el subsuelo viene a ser un conjunto de compuestos químicos que van de componentes de estructura sencilla – como el metano (CH_4) – hasta otros con estructura mucho más complicada. La fórmula general de este grupo de compuestos llamados alcanos es $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ y lo constituyen el metano, el etano, el propano, el butano, el pentano, el hexano y otros hidrocarburos. A temperatura ambiente, el metano, el etano, el propano y el butano son gases, a partir del pentano (C_5H_{12}), es decir $n=5$, los alcanos son líquidos, y los de mayor peso molecular, cuando el valor de n es superior a 18, por ejemplo ($\text{C}_{19}\text{H}_{40}$) son sólidos.

Hay que decir que en química orgánica los alcanos son los compuestos más estables y son inertes frente a muchas reacciones, sin embargo pueden ser descompuestos mediante la acción del calor, es decir, el craqueo térmico. Rompiendo las grandes moléculas de hidrocarburos líquidos en pequeñas moléculas que resultarán entonces hidrocarburos gaseosos.

El metano, siendo el componente principal del gas natural, se empezó a utilizar como combustible, pero también se utilizó para obtener hidrógeno, acetileno o gas de síntesis, como se conviene en llamar al gas combustible obtenido por reacciones químicas. Así pues, hasta el más elemental de los hidrocarburos, el metano, se mezclaba con vapor de agua a 400°C y se hacía pasar a través de un catalizador

compuesto por níquel a 900 °C, el resultado era su descomposición en monóxido de carbono (CO) e hidrógeno (H), ambos gases eran combustibles, aunque la reacción podía no ser completa y se mantenía una determinada presencia de metano, el resultado era un conjunto de gases. Fue uno de los sistemas que se emplearon para enriquecer o sustituir al gas manufacturado (Cardelús, 1960:10).

Todos los elementos de la cadena de hidrocarburos pueden utilizarse para la obtención de gas de síntesis de bajo poder calorífico, como ha sido el caso del uso del metano o también del propano. En la década de los años 1950 se desarrollaron algunas instalaciones de reformado de gases que efectuaban este proceso. Sin embargo, en pocos años estos gases de alto poder calorífico dejaron de ser materia prima en las reacciones de reformado y pasaron a ser distribuidos directamente utilizando quemadores apropiados, primero en las aplicaciones industriales y posteriormente en aplicaciones domésticas.

En Europa, en los años 1940, los hidrocarburos como el gas-oil y como el fuel-oil se utilizaron para mejorar la calidad del gas fabricado. Se hicieron ensayos en los que estos combustibles se inyectaban en un horno junto con vapor de agua a temperatura elevada de manera que se favorecía la descomposición del hidrocarburo en distintos gases. No había otra operación que la de inyección, recogándose la mezcla de gases de la misma forma que se hacía con el gas de hulla. Estos ensayos pusieron de manifiesto que el poder calorífico de la mezcla de gases resultante era superior a los 8.000 kcal/m³ y por tanto se podían utilizar como aditivo al gas de hulla para mejorar su propio poder calorífico (Journal, 1953:214).

El proceso principal consistía en una reacción química con aportación de calor a través del

vapor de agua, o una reacción química de oxidación parcial del hidrocarburo. En ambos se obtenían principalmente dos gases combustibles: hidrógeno (H) y monóxido de carbono (CO) y en una menor proporción el metano (CH₄). Desde el propano o el butano, que se encuentran en la posición C₃ o C₄, hasta los elementos más pesados de la cadena, como por ejemplo el fuel-oil pesado, todos se pueden utilizar para la obtención de gas de síntesis. Pero tanto el metano, como el propano, y el butano, o la gasolina, que tiene la posición C₅-C₆, no han sido utilizados demasiado en estos procesos, a causa de su uso más directo, en el campo energético o en el motor de explosión. Los que sí fueron utilizados, fueron algunos productos residuales de la destilación del petróleo, que no tenían una aplicación industrial directa, pero que tenían un alto contenido en hidrógeno, en relación con el carbono, y que estaban situados en posiciones superiores a C₁₅. Pero estos productos tenían un problema, su uso conllevaba la producción también de una gran cantidad de carbono que debía separarse del proceso para que no se mezclara con el gas. Sucedió lo mismo que con la gasificación del carbón pero en este caso en menor proporción.

Pero dentro del proceso de destilación del petróleo, hubo una de las fracciones del petróleo que tampoco tuvo aplicación industrial directa, se trataba de la nafta. La nafta es un hidrocarburo ligero, ocupa la posición entre C₇ y C₉ de la gráfica anterior, su composición depende del origen del petróleo en crudo y fue considerada, al principio, como un subproducto sobrante de la obtención de la gasolina, y además no era carburante. Este fue el motivo por el cual se plantearon y ejecutaron métodos para su aprovechamiento para la obtención de gas, con la particularidad de que su bajo contenido en carbono la hacía más útil que los hidrocarburos pesados.

Así pues los derivados del petróleo, fueron muy utilizados para la gasificación, tanto las naftas como otros compuestos más pesados, lo que dio lugar a un desarrollo de diferentes procesos químicos orientados hacia su conversión en gas. Únicamente se exigía que el gas resultante tuviera características similares al gas manufacturado procedente de la destilación del carbón. Por eso, el uso de estos productos petrolíferos se expandió de forma destacable. Entre los años cincuenta y sesenta la utilización de estos métodos fue una alternativa para la obtención de gas ciudad más económica incluso que el uso del carbón.

A lo largo de los años han sido muchos los procesos que se diseñaron para obtener hidrocarburos gaseosos a partir de los hidrocarburos líquidos. La base de todos estos procesos como se ha indicado fue descomponer unos compuestos orgánicos en otros mediante la ruptura de los enlaces estructurales de una molécula y la formación de nuevos enlaces y por tanto de nuevas moléculas. Este método de ruptura y unión ha sido la base fundamental de la química orgánica, que en este caso era aplicado a la obtención de gas.

Se pueden agrupar estos procesos de forma esquemática en tres principales metodologías que fueron desarrolladas por diferentes industrias de forma más o menos paralela

- 1. la descomposición térmica o craqueado.
- 2. la reacción con el vapor de agua o reformado. (“reforming” en el argot gasista)
- 3. la reacción con el oxígeno o combustión parcial.

Las nuevas fábricas de gas de los años 1960 renovaron completamente su fisonomía mediante la incorporación de procesos químicos de transformación de los hidrocarburos. Las reacciones primarias de los hidrocarburos no se utilizaron solamente para obtener gas de síntesis similar al gas ciudad, también han sido utilizadas para la obtención de toda clase de compuestos orgánicos, olefinas, parafinas, alcoholes, etc.

Estos procesos son la base de buena parte de la química orgánica y en nuestro caso específico, también para la obtención de gas de síntesis. Tienen en común una cámara de reacción, a la que precede una cámara de calentamiento del vapor, y una cámara de recepción de

Cuadro 5.7. Componentes usuales del gas ciudad

Componentes	Valores en %
CH ₄ (Metano)	27,0
C _n H _m (Etano y superiores)	4,7
H ₂	51,8
CO	7,5
CO ₂	2,0
O ₂	0,5
N ₂	6,5

Fuente: British Petroleum, 1972: 7.

los compuestos obtenidos que se separan convenientemente. La fase de calentamiento, que puede llegar hasta los 1.100 °C suele tener lugar en cámaras con masas refractarias fijas a las que se calienta y luego transmiten el calor al proceso. En bastantes procesos, las reacciones se efectúan a la presión atmosférica, pero también existen procesos con aplicación de altas presiones y en general es necesaria la aportación de calor externo a la reacción, de lo contrario esta no se podría iniciar.

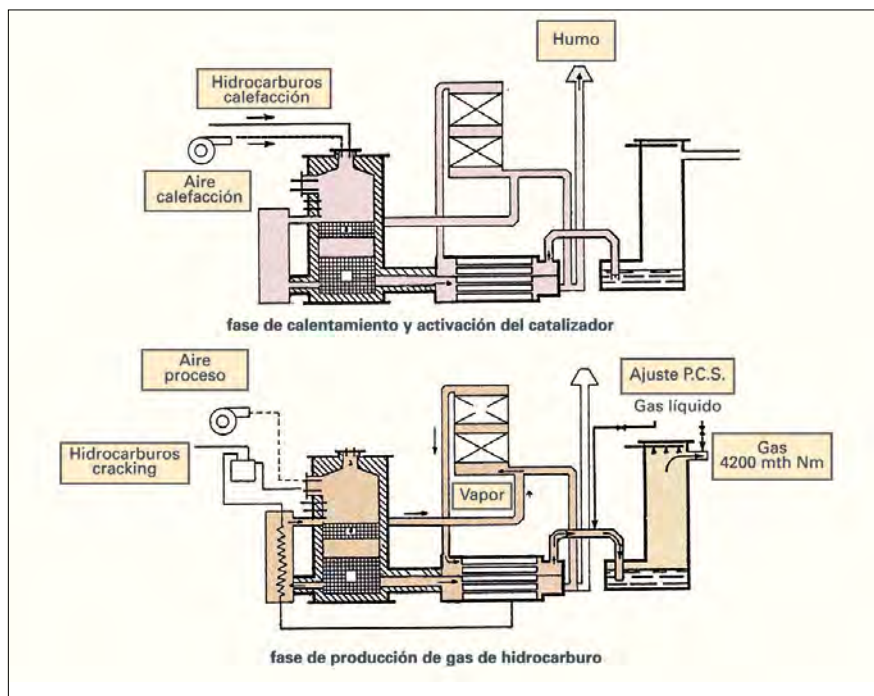
En resumen, todos los procesos químicos utilizan el vapor a alta temperatura y una reacción química que se desarrolla con la intervención de un agente catalizador, un elemento fundamental en el proceso. En el año 1877 Ch.Friedel y J.M.Crafts descubrieron que el cloruro de aluminio catalizaba una reacción entre derivados halogenados de hidrocarburos alifáticos. Desde entonces se vienen utilizando distintos compuestos inorgánicos para favorecer o estimular las reacciones de compuestos orgánicos.

El catalizador es un elemento principal del proceso de transformación, en él se concentra la capacidad de encauzar la reacción y de dar velocidad de creación a la misma, pero sin autodestruirse o sin aparecer en el producto final. El catalizador tiene la propiedad de facilitar la reacción, ofreciendo al sistema vías de activación que no aparecerían sin su presencia, o también, dicho de otra forma, permitiendo realizar las reacciones a la misma velocidad pero con temperaturas mas bajas a las que necesitarían los componentes de la reacción sin su presencia.

El catalizador se forma mediante distintos componentes metálicos en los que la interfaz útil no solo es la superficie que presentan a los reactivos, sino también la porosidad de su estructura cristalina que también influye. Funciona como si relajara, o rompiera los enlaces moleculares de los elementos que tienen que reaccionar y estos, al encontrarse más libres, tuvieran más capacidad de empezar la reacción.



(ONIA-GEI, AHFGNF).



Esquema de los dos ciclos de funcionamiento de una línea de craqueo catalítico CIFUINDUS, que fue muy utilizada en las fábricas de gas españolas (CIFUINDUS).

Los catalizadores que se utilizaron en la tecnología del gas eran bastante complejos, debían poseer también un soporte refractario que asegurase una buena inercia térmica para mantener homogénea la temperatura, pero al mismo tiempo ser resistentes a dicha temperatura y no reaccionar, o envenenarse –como se conoce en el argot químico–, con los elementos presentes en el gas que circulaba a través de ellos. Precisamente por ello las mezclas de hidrocarburos que se enviaban al reactor debían de estar libres de azufre o de plomo que eran destructores de la capacidad del catalizador.

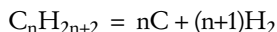
Los materiales catalizadores más utilizados fueron el níquel (Ni), el óxido de aluminio o

alúmina (Al_2O_3) y el dióxido de silicio o sílice (SiO_2) que se colocaban, en distintas proporciones según el proceso, en la parte central del reactor.

5.3.1. Procesos básicos de la transformación de los hidrocarburos en gas

Es difícil de expresar el conjunto de reacciones químicas que intervienen en el craqueo o el reformado de los hidrocarburos, pero se puede aproximar que las más importantes son las que se expresan en cada uno de los métodos descritos a continuación.

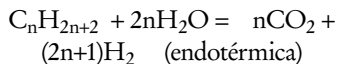
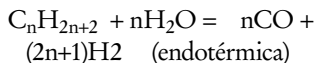
La primera sería la Descomposición térmica, o craqueado, que se efectúa a una temperatura mayor de 1000 °C. Fue probablemente el primero de los métodos utilizados en los Estados Unidos, donde se originó el término de “Pacific Coast Oil-Gas” aplicado al gas resultante, al desarrollarse principalmente en aquella zona de los Estados Unidos. La base del proceso consiste en partir (craquear) las moléculas de hidrocarburo en los dos principales componentes, que son el Carbono y el Hidrógeno:



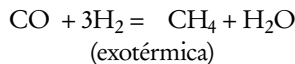
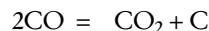
Una reacción que aunque parezca simple es compleja y que se sucede pasando por varios pasos con compuestos que se crean y se vuelven a descomponer de nuevo para aproximarse al resultado de la fórmula anterior, pero también se producen hidrocarburos gaseosos como el metano, el etano, o el propano al recombinarse de nuevo el carbono y el hidrógeno durante el proceso. En este método la composición de monóxido de carbono es pequeña y la presencia del catalizador la reduce aún más. La severidad del proceso es superior a la de los otros métodos dando siempre como resultado un gas de alto poder calorífico.

La segunda sería el reformado, que también debe de efectuarse a temperaturas de unos 1.000 °C. La base del proceso es la descomposición por oxidación, con la participación del vapor de agua, que origina una serie de reacciones endotérmicas, que necesitan calor externo para mantenerse, que en general se pueden representar en dos conjuntos.

Reacciones principales:



Reacciones secundarias:

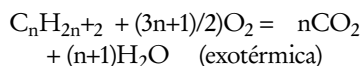
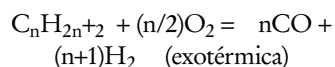


Es decir los principales productos combustibles del gas serán el hidrógeno, el monóxido de carbono y también el metano. Pero al ser una reacción muy endotérmica, los reformados funcionan normalmente con aportación de calor. También fue necesario adoptar el uso de catalizadores que ejercieran a la reacción una mayor capacidad de producción. El inconveniente era que durante la reacción se formaba un depósito sólido de carbono que debía ser eliminado del gas y del reactor.

Precisamente por necesitar una aportación de calor adicional el sistema de reformado se desarrolló como un proceso cíclico en dos fases a la presión atmosférica: una fase de calentamiento del reactor y una fase de reacción de los componentes. Pero posteriormente se desarrolló el sistema de reformado continuo, que podía trabajar a mayor presión que la atmosférica y proporcionaba un gas resultante de mayor capacidad calorífica, aunque también debía de considerarse la influencia que en este sistema tenía la generación de depósitos de carbono según el tipo de hidrocarburo que se utilizaba: cuanto más pesado era el hidrocarburo mayor proporción de carbono se producía. Por ello la nafta, que estaba entre los hidrocarburos ligeros, fue un producto muy utilizado.

El tercer método sería la Combustión parcial u oxidación parcial de los hidrocarburos, que se obtiene reaccionando el hidrocarburo en una atmósfera donde existe oxígeno (o aire) pero no lo suficiente como para combustionar completamente. De esta manera se produce una oxidación parcial del hidrocarburo, con tendencia pero a

proporcionar un gas de alto contenido en monóxido de carbono (CO), consiguiéndose unas reacciones similares a las anteriores:



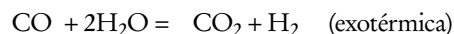
Este método permite utilizar hidrocarburos pesados sin que se originen depósitos de carbono en exceso. Este proceso también permite la generación de hidrógeno para otros propósitos químicos.

En los tres métodos, las reacciones explicitadas son las más representativas y no excluyen otras que se producen dentro del proceso, que son función de las temperaturas alcanzadas en los distintos puntos del mismo, de la presión en que se encuentra la mezcla a tratar y de la presencia de catalizador en la reacción o incluso de la mayor o menor cantidad de vapor utilizada. Con la introducción del hidrocarburo líquido (o gaseoso) a procesar, el resultado final es un gas combustible cuyos parámetros pueden oscilar significativamente, pero que siempre contiene CO, CO₂, H₂, CH₄ y otros componentes,

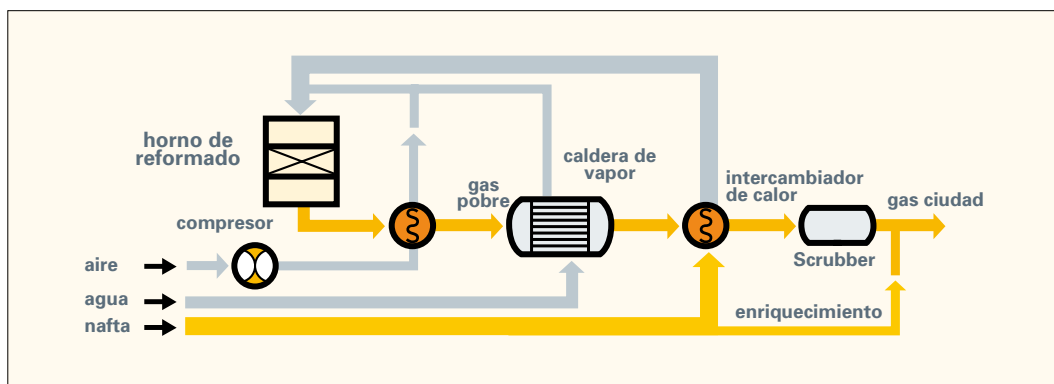
entre los que se deben considerar las impurezas como el H₂S que proviene del contenido de azufre en el hidrocarburo, así como hidrocarburos más pesados como el alquitrán.

Los procesos que se describen siguen principalmente uno de los tres métodos básicos, pero también existen procesos que combinan dos de ellos, principalmente el segundo y el tercero, que puede decirse que serían complementarios. Es el caso del esquema que sigue, en el cual se introduce en el horno reactor una mezcla de aire y vapor de agua, las reacciones endotérmicas se compensan con las exotérmicas y se necesita poca aportación de calor adicional.

Para aproximarse más al gas manufacturado procedente del tratamiento del carbón, en algunos de los métodos que se describen, se debe contemplar la conversión del monóxido de carbono en dióxido de carbono e hidrógeno mediante la adición de vapor de agua.



No entramos a considerar el rendimiento de cada uno de los métodos porque depende muy



Esquema de principio de reformado continuo con combustión parcial (Journal, 1973:283).

directamente del hidrocarburo utilizado y de su composición, aunque evidentemente el progreso de las tecnologías utilizado y el avance de los procedimientos para la obtención de gas manufacturado tuvieron muy en cuenta los beneficios que se obtenían con un mayor rendimiento del proceso. Este se medía con la relación volumétrica entre el hidrocarburo utilizado y el gas producido y almacenado. En esta comparación debe considerarse que, como se verá en alguno de los diagramas de cada uno de los procesos indicados, el hidrocarburo utilizado puede tener dos funciones, por una parte proporcionar calor a la reacción y por otra parte autodestruirse para dar lugar a otros compuestos. Por eso cuando se calculaba el rendimiento del proceso, en las entradas de hidrocarburo, se consideraba la suma del calentamiento y del proceso.

En resumen, las plantas de producción de gas de nafta tienen la misión de convertir esta mezcla de hidrocarburos líquidos en otra mezcla de hidrocarburos gaseosos que se asemeje al gas de hulla. En todas las plantas se encuentran procesos similares, todos mediante aportación de calor en forma de vapor de agua, como son:

- Formación de vapor de agua para el proceso
- Reducción del contenido en azufre de la nafta.
- Reacción de reformado de la nafta con la obtención de una mezcla de gases.
- Reducción del contenido de CO de la mezcla de gases.
- Recuperación del calor de la mezcla de gases.
- Lavado de la mezcla de gases.

La muestra de los procesos que sigue y que se

fueron introduciendo en la industria del gas, fueron desarrollados principalmente por empresas del sector gas o petróleo. La evolución de la tecnología se realizó tanto en la ejecución del método, en la aplicación del catalizador idóneo, como en los controles del proceso. Dicha evolución, en la cual se basaron para su diseño, queda reflejada en los esquemas correspondientes. Sin embargo no se han descrito todos, ni es el propósito de esta publicación. Dicha evolución estaba vinculada más directamente a la industria química que a la industria del gas, pese a que los equipos se utilizaron en esta. La adopción de uno u otro sistema de producción por las industrias del gas fue en función del mercado de tecnología existente y accesible, como se observará en su utilización en las fábricas españolas.

5.3.2. Los procesos Hall y Semet-Solvay

El proceso Hall fue el primer método de craqueado térmico que se diseñó para utilizar fuel-oil pesado y aceites de superior peso específico, pero con el tiempo también se utilizó con derivados del petróleo de menor densidad como la nafta. Este proceso consistía en dos generadores de vapor y dos cámaras de recalentamiento del vapor que actuaban de forma cíclica pasando vapor a unos 900°C en un sentido donde reaccionaba con el hidrocarburo y luego aire caliente en sentido contrario, con este segundo ciclo se quemaba el carbono residual que se había generado en la reacción anterior. Este proceso podía operar con o sin catalizador.

La nafta introducida en el proceso Hall proporcionaba distinta composición del gas resultante según si se utilizaba catalizador o no. Como se puede observar, este producto contenía un porcentaje importante de gases de alto poder calorífico: metano, etano, propano, butano. Hay

que indicar aquí que también en todas las tablas que se van a ir exponiendo, se excluye citar las impurezas obtenidas, las cuales son valores que pueden variar según el hidrocarburo que se introduzca en el proceso.

El proceso Hall quedó establecido en 1948 cuando se demostró que tanto técnica como económicamente era posible gasificar aceites residuales del petróleo. Este proceso tomó el nombre de su inventor. En 1955 se habían instalado 30 plantas en todo el mundo, una de ellas la de París citada anteriormente (Malquori, 1955:502).

Posteriormente se efectuaron variantes de este proceso, como el Semet-Solvay que fueron extendiéndose por Estados Unidos para producir gas de mayor poder calorífico, que

cámara de vaporización en la parte superior. El vapor que entraba por la parte inferior del primer recipiente era recalentado por el apilamiento y pasaba a la cámara superior en donde se vaporizaba el hidrocarburo, y juntos pasaban hacia el segundo recipiente donde se realizaba el craqueado pasando el gas después al depósito de lavado. A continuación se introducía una corriente de aire en sentido contrario para regenerar el conjunto y liberar el posible carbón depositado en el apilamiento. Seguidamente se ponía en marcha el quemador para que el apilamiento cerámico accediera a la temperatura adecuada de reacción. La operación se repetía de nuevo en sentido contrario empezándola con el otro recipiente de forma cíclica cada cuatro minutos.

Cuadro 5.8. El proceso Hall

Componentes del gas	sin catalizador (valores en %)	con catalizador (valores en %)
CH ₄ (Metano)	35,3	26,5
C _n H _m (Etano y superiores)	29,4	29,2
H ₂	19,4	26,1
CO	2,1	6,8
CO ₂	2,0	4,2
O ₂	0,8	0,8
N ₂	11,0	6,4

Fuente: British Petroleum, 1972: 69.

era el que se podía producir con el método de craqueado térmico.

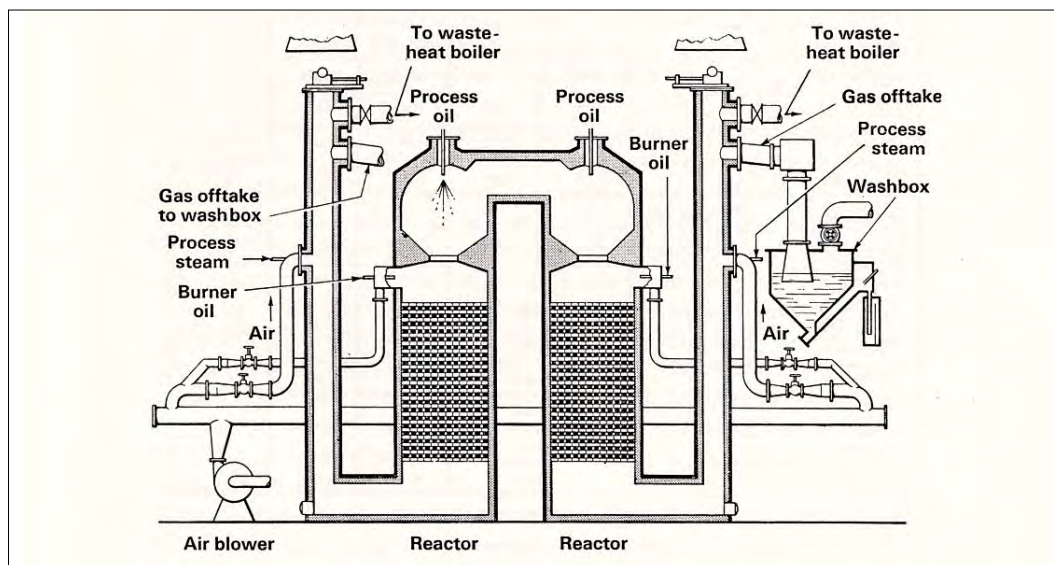
El método Selmet-Solvay, consistía en dos recipientes simétricos conectados por la parte superior que contenían ambos un apilamiento de material cerámico en su parte inferior y una

El método anterior proporcionaba un gas de alto poder calorífico, del orden de 9.000 ó 10.000 calorías por m³, que era incompatible con el gas de hulla. Por eso se implantaron los métodos de “reforming” –en estos si se necesitaba catalizador–, que permitían obtener un gas similar al de destilación

de la hulla y por tanto intercambiable en la distribución para el consumo. Esta intercambiabilidad era un aspecto altamente importante ya que los quemadores existentes en las viviendas estaban preparados específicamente para el gas de hulla. El método además presentaba ventajas respecto

5.3.3. El proceso ONIA-GEGI

El proceso ONIA-GEGI que fue desarrollado conjuntamente por las empresas francesas, *Office National des Industries de l'Azote* (ONIA) de Toulouse y la *Société de constructions d'appareils*



Esquema del proceso Selmet-Solvay de obtención de gas de hidrocarburos líquidos (British Petroleum, 1972: 70).

del craqueado térmico pero se debían alcanzar temperaturas más altas, del orden de 1.200 °C.

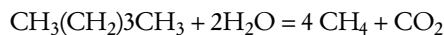
Dentro del método de reformado catalítico se pueden diferenciar dos procesos por el tipo de catalizador utilizado, el proceso ONIA-GEGI que empleaba el níquel como catalizador y el proceso Segas que usaba principalmente la magnesita. En este proceso se generaban depósitos de carbono al igual que los procesos anteriores que debían de ser extraídos por procedimientos mecánicos, para que no se incorporasen al gas como se explica en cada uno de los dos casos siguientes.

pour Gaz a l'Eau et Gaz d'Industries (GEGI) de Montrouge, trabajaba a la temperatura de 900 °C y a presión atmosférica bajo un sistema no regenerativo del catalizador. Es decir, que solo se operaba en un único sentido de flujo del conjunto gas-vapor en lugar de dos como el anterior. De hecho, el proceso con la presencia de vapor podía gasificar los aceites pesados, reformar el metano o gases de refinería, y también podía obtener hidrógeno para la producción de amoníaco, que era uno de los métodos más trabajados por ONIA, pero en este apartado solo vamos a efectuar la descripción de la gasificación.

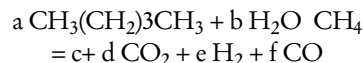
5. Nuevos métodos de producción de gas

El proceso requería que se alcanzase la temperatura de 850-900 °C dentro del recipiente precalentador de vapor, lo que se conseguía con los quemadores auxiliares de hidrocarburo. Una vez lograda la temperatura necesaria para el proceso, se hacía circular vapor por el recipiente en el cual se mezclaba, en la parte superior, con el hidrocarburo a procesar y ambos pasaban al recipiente del catalizador que también debía encontrarse a la temperatura adecuada. En la reacción se obtenía el gas que se introducía en el recipiente de lavado. Mediante un sistema de válvulas no representado, el vapor residual podía pasar de nuevo a la caldera, mientras el quemador volvía a funcionar para calentar el recipiente y de nuevo empezaba el ciclo, el cual tenía una duración de entre 4 y 5 minutos. El catalizador actuaba reteniendo una gran parte del azufre del hidrocarburo, por eso de forma periódica tenía que ser extraído este catalizador para su limpieza.

La nafta fue uno de los hidrocarburos más utilizados en este proceso y la reacción con el vapor de agua, sería teóricamente:

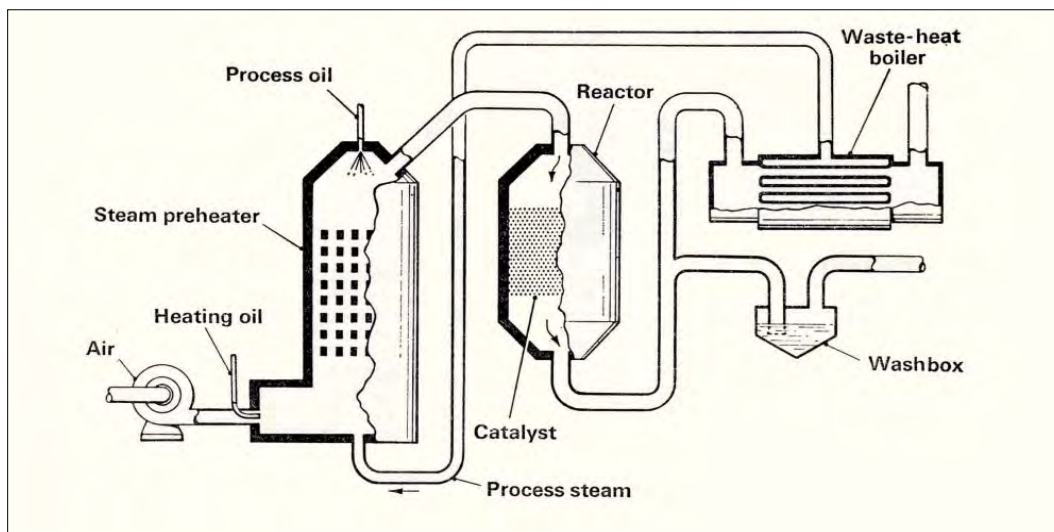


Pero en la práctica se quedaba en la siguiente, siendo a,b,c,d,e y f los coeficientes resultantes de la reacción:

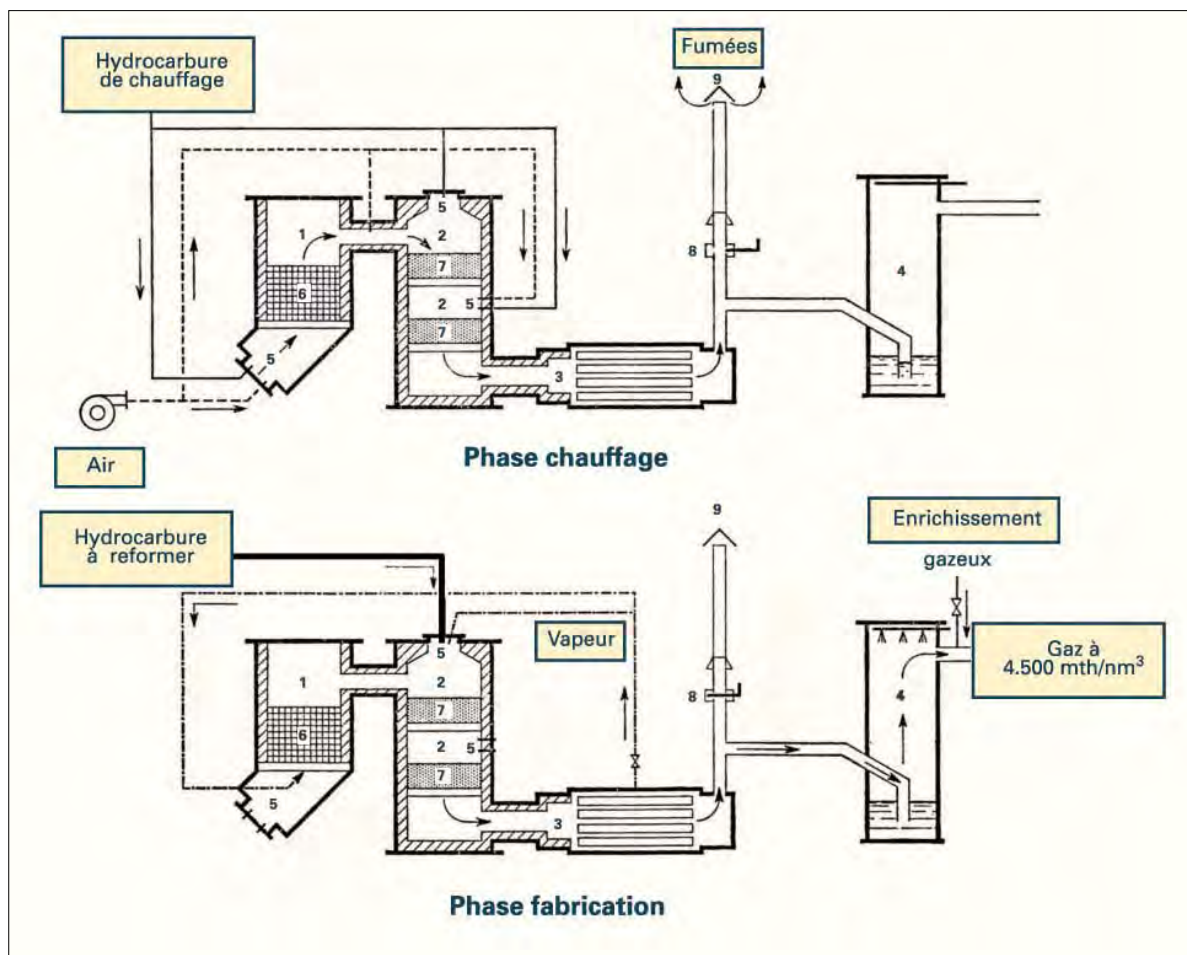


Dando como resultado una mezcla de hidrocarburos en función de las distintas variables del entorno, de las limitaciones de la actividad del catalizador y del conjunto de equilibrios que se suceden en el reactor.

Las dos fases de funcionamiento del proceso cíclico ONIA-GEGI. Fase de calentamiento y fase de fabricación.



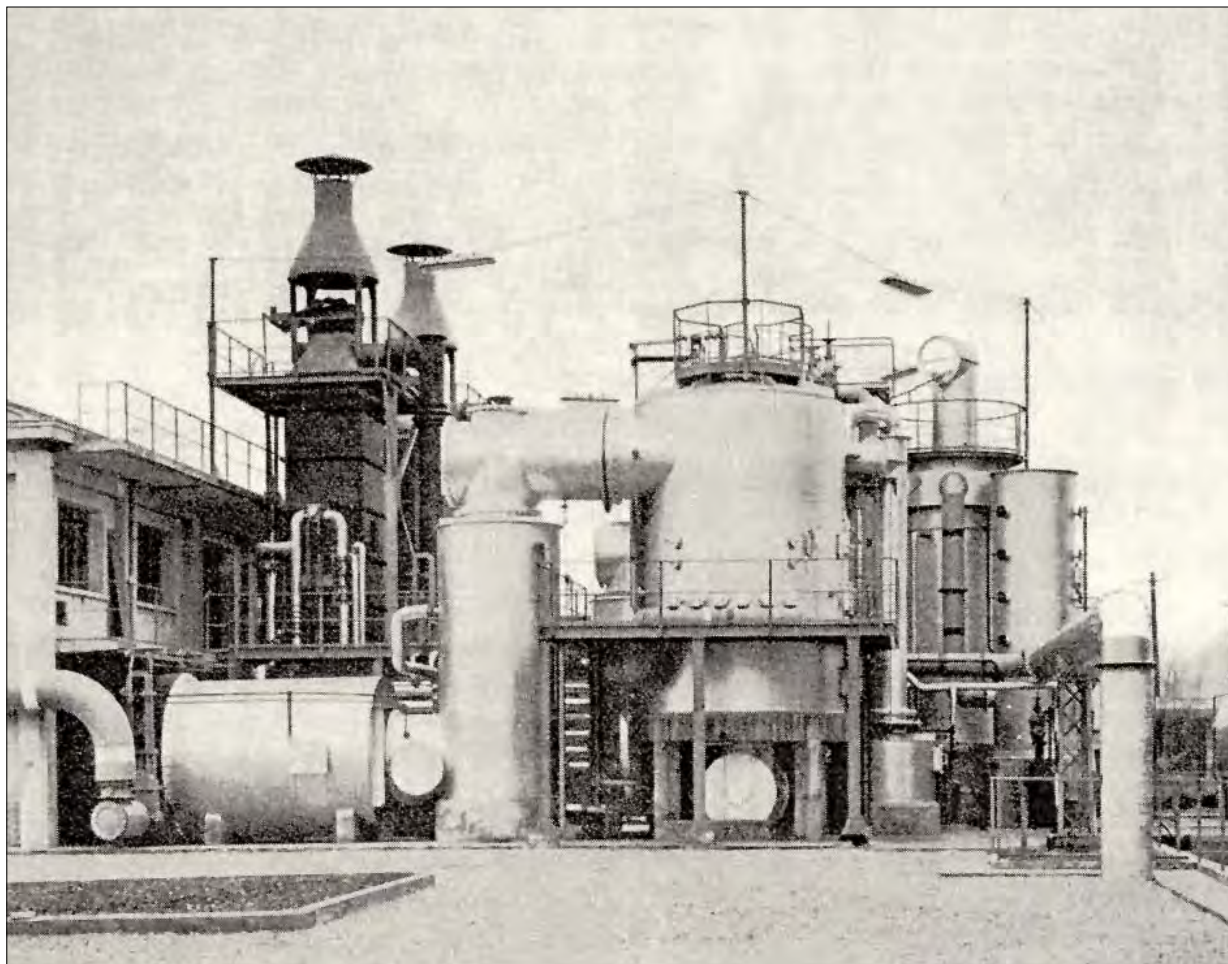
Esquema del proceso ONIA-GEGI de obtención de gas de hidrocarburos líquidos (British Petroleum, 1972: 87).



Las dos fases de funcionamiento del proceso cíclico ONIA-GEGI. Fase de calentamiento y fase de fabricación (British Petroleum, 1972: 87).

En este esquema, a diferencia del anterior, el hidrocarburo va directamente a la cámara de reformado y el catalizador queda separado en dos capas para mejor actuación.

Las primeras fábricas de gas que utilizaron el proceso ONIA-GEGI fueron la de Toulouse, para obtener gas de síntesis y amoníaco, y la de Cahors (Francia) para obtener, a principios de los



Desde los años 1950 las fábricas de gas empezaron a tener otra composición industrial, que se caracterizó por la desaparición de los hornos de carbón y la instalación de procesos físico-químicos de mayor envergadura. En la imagen la fábrica de Verona (Italia) (Malquori, 1955: 504).

años cincuenta, gas ciudad en una planta de 8.000 m³/día. En Italia se instaló la primera planta en Verona (Malquori, 1955:505), y en Gran Bretaña la primera fue la de Solihull, una mediana localidad de los Midlands (Malquori, 1955:249).

La fábrica de Cahors utilizó el sistema de craqueado catalítico de un fuel-oil de 10.390 kcal/kg con el que obtenía un gas de 4.300 kcal/m³ con un rendimiento térmico del 67%. El gas resultante tenía la siguiente composición:

Cuadro 5.9. El proceso ONIA-GEGI

Componentes del gas	(valores en %)
CH ₄ (Metano)	18,6
CnHm (Etano y superiores)	4,3
H ₂	45,3
CO	15,8
CO ₂ y H ₂ S	10,4
O ₂	0
N ₂	5,6

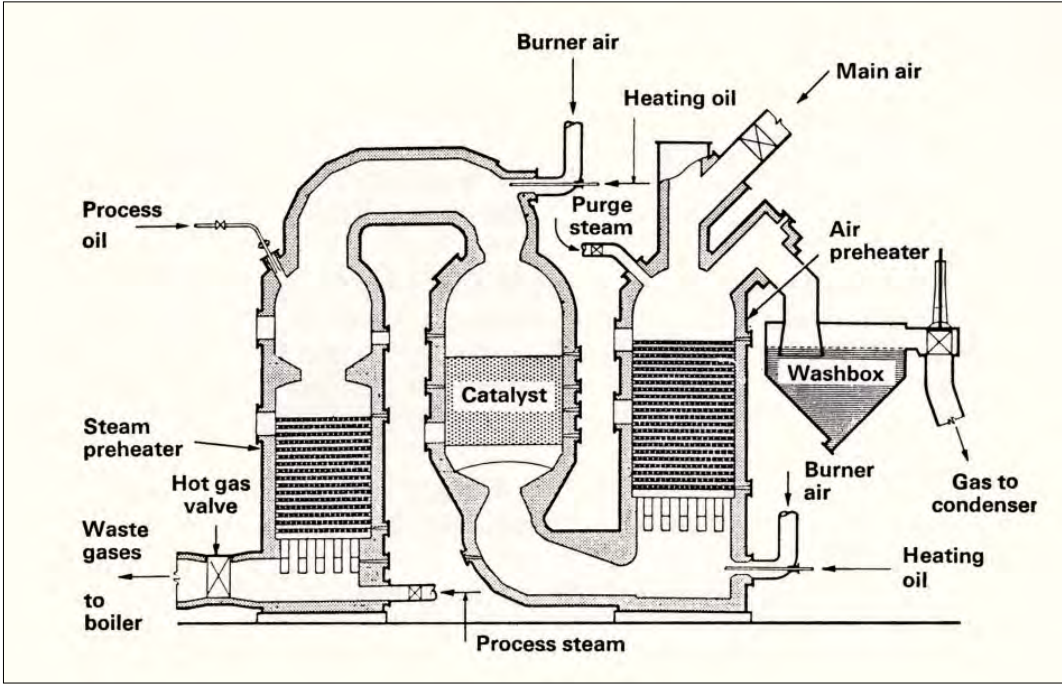
Fuente: Journal, 1953:215.

5.3.4. El proceso SEGAS

El proceso de SEGAS fue desarrollado en la Gran Bretaña por *Britain's Southeastern Gas Board*, y quedó establecido en el año 1951. Venía a representar una síntesis de los dos anteriores, pero con la ventaja de reducir la formación de carbono por craqueado debido a que el catalizador aceleraba la reacción entre el carbón y el vapor. Desde el punto de vista estructural, respecto del proceso Semet-Solvay la diferencia estaba en que se añadía una tercera columna que contenía el catalizador y respecto del proceso ONIA-GEGI en que era bidireccional como en el proceso Semet-Solvay, y que el catalizador, que era alúmina artificial o bauxita activada asociada con carbonato de cal, se comportaba mejor. La primera planta construida siguiendo este proceso fue puesta en servicio en febrero de 1953 en Stockton-on Tees en Gran Bretaña (Malquori, 1955:506).

El proceso también requería que el recipiente

del catalizador alcanzase la temperatura de unos 1.000 °C mediante el funcionamiento del quemador superior. El vapor se introducía por la parte inferior del recipiente precalentador y en la parte superior se le unía el hidrocarburo a procesar. Ambos se introducían después en el compartimento del catalizador donde se producía la reacción y pasaban a continuación al tercer recipiente donde la mezcla se enfriaba. Una vez producido, el gas pasaba al recipiente de lavado. La segunda fase empezaba con la inyección de aire por la parte superior del tercer recipiente, el cual se precalentaba con el intercambiador y se calentaba totalmente con la ayuda del quemador situado en la parte inferior, ello permitía que la corriente de aire caliente circulase en sentido contrario e incidiese sobre el catalizador eliminando el carbón depositado en el mismo que se evacuaba en el conducto de gases hacia la caldera. El ciclo duraba unos 3 ó 4 minutos. Posteriormente utilizó otro catalizador formado por bolas de magnesita de unos 3 cm de diámetro con un 1% de cal como agente activo.



Esquema del proceso SEGAS de obtención de gas de hidrocarburos líquidos
(British Petroleum, 1972: 84).

Cuadro 5.10. Comparación de procesos utilizando nafta

Componentes del gas	proceso ONIA-GEGI (valores en %)	proceso SEGAS (valores en %)
CH ₄ (Metano)	11,9	14,7
C _n H _m (Etano y superiores)	7,5	5,1
H ₂	47,0	57,6
CO	22,2	15,1
CO ₂	6,5	3,0
O ₂	0,2	0,8
N ₂	4,7	3,7

Cuadro 5.11. Metodos de “Reforming”

ciclo unidireccional	ciclo bidireccinal
Calentamiento del precalentador y del cuerpo del catalizador.	Calentamiento del precalentador y del cuerpo del catalizador.
Introducción del vapor y el hidrocarburo a reformar.	Introducción del vapor y el hidrocarburo a reformar.
	Limpieza del conjunto catalizador y precalentador, (sentido contrario)

El método de “reforming” fue muy extendido y proporcionó bastantes sistemas de procesado distintos, aunque todos se basaron en las mismas fases principales. El equipo central del proceso era el contenedor del catalizador mientras que el principal inconveniente era la longevidad del propio catalizador al verse afectado por la acumulación de partículas de carbón, la presencia de sulfuros y la alta temperatura utilizada.

Un avance tecnológico en este ámbito del reformado de hidrocarburos lo constituyó el paso de un sistema cíclico a un sistema continuo. Este fue utilizado cuando se requería una mayor capacidad de generación de gas, ya que no tenía intervalos de espera entre ambos ciclos: de calentamiento y de producción. Sin embargo, los procesos continuos fueron más sensibles a la existencia de azufre en el hidrocarburo a reformar por lo que debía ser desulfurado antes de su entrada en el proceso.

5.3.5. El proceso ICI de “Reforming” continuo

En el sistema continuo, el catalizador siguió siendo la parte más delicada del proceso. Se utilizaba como catalizador el níquel al que se le añadieron otros compuestos inorgánicos como la alúmina o carbonato potásico con la finalidad de reducir los depósitos de carbón y prevenir su desactivación por la presencia de azufre.

El primer sistema continuo que se puso en práctica fue introducido en 1962 por *Imperial Chemical Industries* (ICI). En este sistema la primera operación consistía en la desulfuración de la nafta antes de entrar en el horno de reformado. Se efectuaba una reacción con hidrógeno mediante un catalizador a una temperatura de 350 °C. Una vez reducido el contenido en azufre, la nafta entraba en el reactor donde se hallaba el catalizador. Este era oxido de níquel con aditivos de sal de potasio para evitar la descomposición del carbono y como consecuencia la destrucción del catalizador. En este sistema al no haber ciclos, el carbono no se podía eliminar con el barrido de aire en sentido contrario, por lo que era tratado de forma diferente. Dentro del reactor estaban instalados unos tubos de acero de aleación al cromo-níquel de 5 pulgadas (127 mm) y 28 pies (8,53 metros) y cuyo calentamiento se efectuaba en el mismo reactor, por la parte externa de esos tubos, mediante la combustión del hidrocarburo. El sistema operaba normalmente a presiones altas del orden de 20 bars, lo que permitía distribuir el gas a esta presión casi directamente. La composición del gas resultante, como ya se ha dicho en otra ocasión, dependía de la presión y de la temperatura del proceso, pero siempre producía un gas con alto contenido en hidrógeno. En la tabla se presentan dos valores posibles en su composición.

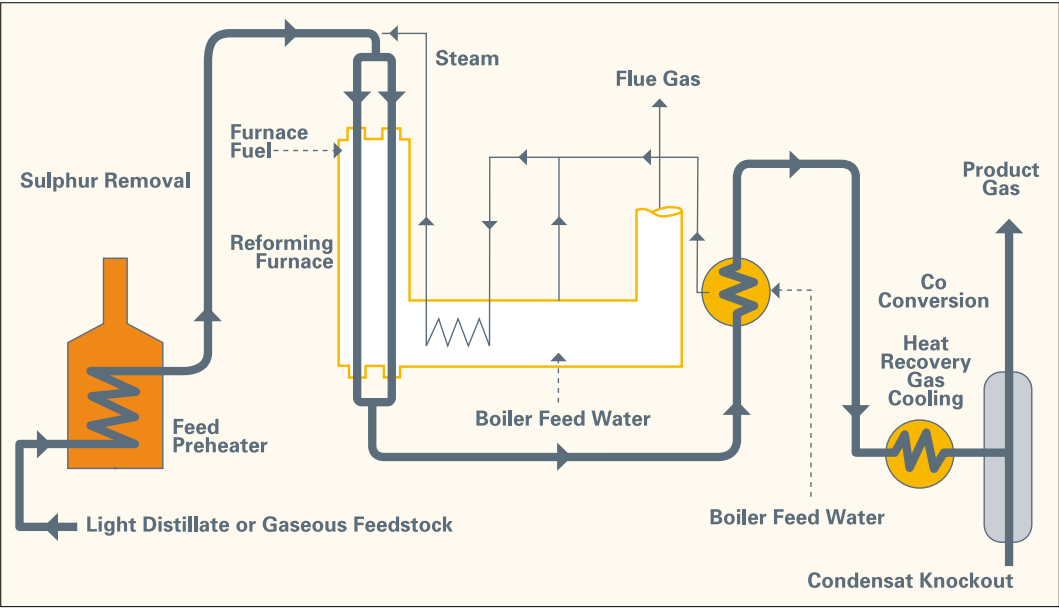
El resultado era un gas con bajo contenido en monóxido de carbono (CO) el cual se podía reducir mediante el proceso clásico de reacción con vapor

de agua pasando así de CO a CO₂. El gas se enfriaba y se secaba lo suficiente. El poder calorífico de este gas no llegaba a los 4.200 kcal/m³ y antes de ser emitido a la red se enriquecía con gases licuados del petróleo (butano, propano), con metano o también con nafta previamente hidrogenada. La ventaja del

proceso ICI era que no se formaba hollín y por tanto la actividad del catalizador no disminuía ni era necesaria su regeneración. Al tratarse de un proceso continuo estaba más automatizado que los procesos cíclicos, lo que añadía una ventaja de costes.

Cuadro 5.12. Reformado continuo proceso ICI

Componentes del gas	a 27 bars y 775 °C (valores en %)	a 12 bars y 815 °C (valores en %)
CH ₄ (Metano)	9,4	1,6
C _n H _m (Etano y superiores)	0	0
H ₂	64,4	70,8
CO	9,1	14,0
CO ₂	17,1	13,6
O ₂	0	0
N ₂	0	0



Esquema del proceso continuo de ICI (Humphreys & Glasgow, 1965:17).

5.3.6. El proceso de obtención de Gas Rico Catalítico (CRG)

El proceso desarrollado por *British Gas Corporation* era también del tipo continuo pero se diferenciaba del anterior en que las reacciones se efectuaban sin aportación de calor exterior, es decir, sin combustión de hidrocarburo auxiliar dentro del reactor. El vapor de agua se mezclaba en baja proporción con el hidrocarburo y ambos se calentaban a la temperatura de 450 °C antes de su introducción en el reactor a una presión de 10 bar. Las propias reacciones que se sucedían aportaban

el calor suficiente dentro del reactor para mantener la temperatura suficientemente alta. En este proceso, la vida del catalizador era aproximadamente de un año, pues quedaba desactivado por la presencia de álcalis en la capa activa. El gas obtenido presentaba un alto poder calorífico, ya que contenía un alto porcentaje de metano y de hidrógeno, pero para su uso en la red de gas ciudad se tenía que efectuar un segundo reformado para adecuarlo a los requisitos de este gas. La reacción de obtención tenía lugar en un segundo reactor tubular mediante una reducción del contenido de metano y un aumento de hidrógeno y monóxido de carbono (CO).

Cuadro 5.13. Componentes del gas obtenido en el proceso CRG

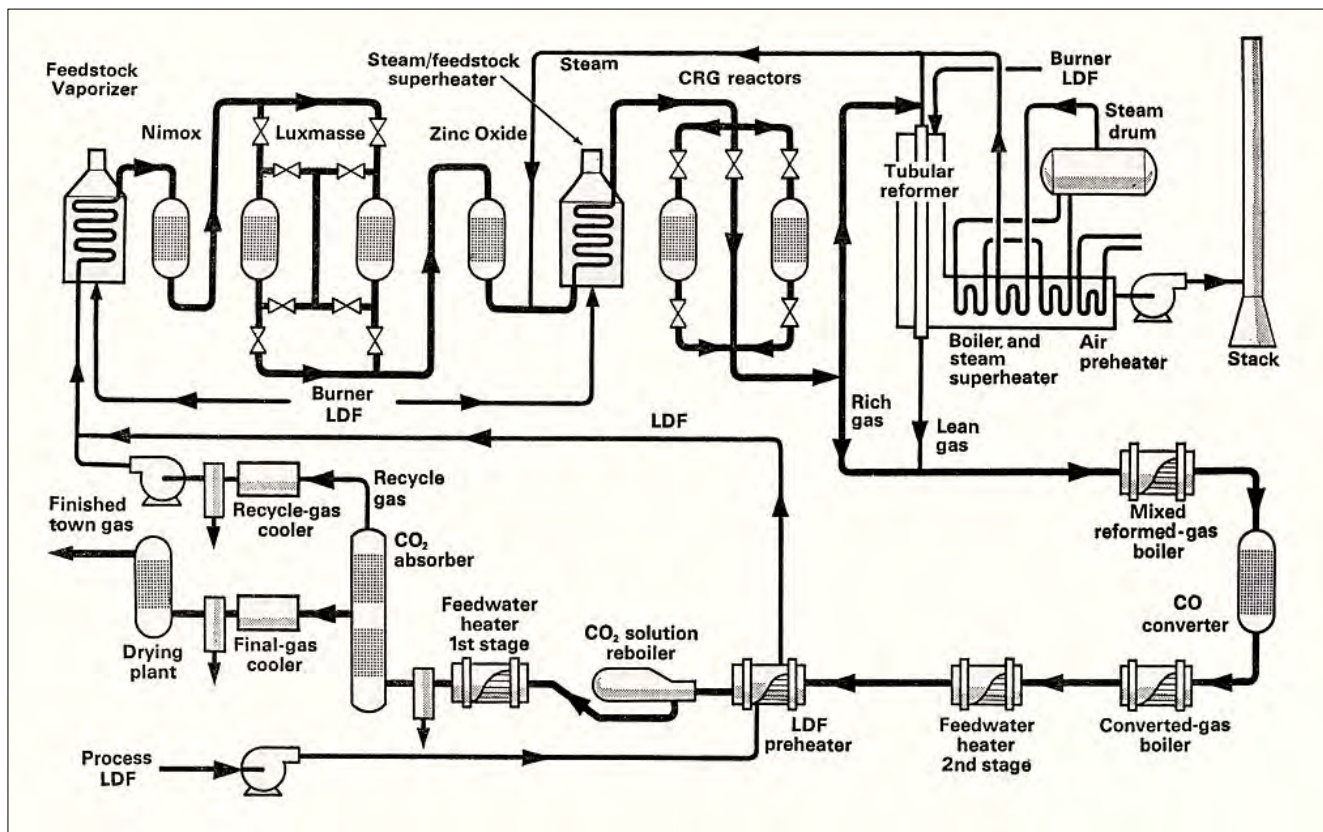
Componentes del gas	Gas rico intermedio	Gas final adaptado a gas ciudad
CH ₄ (Metano)	61%	34,2 %
C _n H _m (Etano y superiores)	0	0
H ₂	18 %	48 %
CO	1	2,4 %
CO ₂	20	15,4 %
O ₂	0	0
N ₂	0	0

5.3.7. El proceso Dstrigaz

En la combustión parcial del hidrocarburo se podía utilizar oxígeno o aire. Cuando se utilizaba oxígeno, el proceso era mucho más costoso, pero presentaba la ventaja de que el contenido final en carbón o alquitrán, como residuos del proceso, quedaban reducidos considerablemente. En caso de utilizar aire

en lugar de oxígeno quedaba un importante porcentaje de nitrógeno en el gas resultante. Hubo procesos que utilizaron catalizador y otros que no lo utilizaron.

El proceso de Dstrigaz fue uno de los más extendidos. En la figura se presenta el esquema de



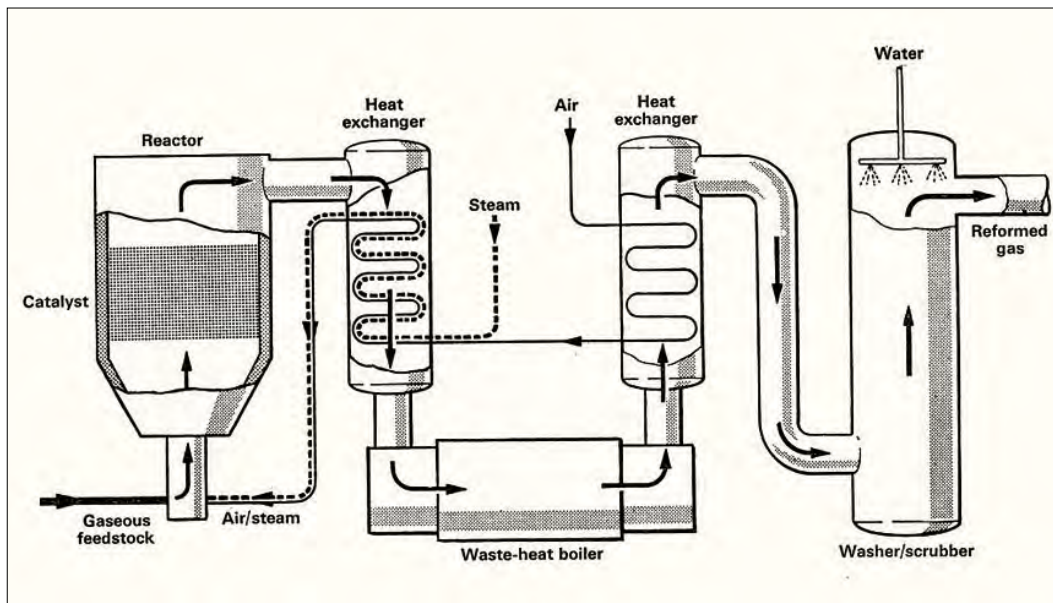
Proceso de obtención de gas ciudad mediante reformado continuo catalítico con obtención intermedia de gas rico (CRG) (British Petroleum, 1972: 131).

un proceso continuo con catalizador desarrollado por Distrigaz, ONIA y Gaz de France, donde además del aire caliente, se introducía una pequeña cantidad de vapor adjunta que servía para prevenir la formación de carbono en el catalizador. El proceso tenía mayor eficiencia que en el caso de no tener catalizador.

En este proceso, se utilizaba para reformar gases

como el propano o el butano de gran poder calorífico, y obtener un gas final cuyas características fueran más cercanas al gas de hulla o gas ciudad.

Otro proceso similar pero trabajando a una presión mucho más elevada fue el desarrollado por el danés Haldor Topsøe y la *Société Belge de l'Azote* de Lieja



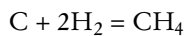
Proceso de obtención de gas ciudad mediante reformado continuo catalítico con obtención intermedia de gas rico (CRG) (British Petroleum, 1972:145).

Cuadro 5.14. Reforming continuo Distrigaz

Componentes del gas	Utilizando propano (valores en %)	Utilizando butano comercial (valores en %)
CH ₄ (Metano)	0,0	0,0
C _n H _m (Etano y superiores)	0,8	1,7
H ₂	36,8	36,1
CO	16,6	15,5
CO ₂	6,2	7,6
O ₂	0,6	0,5
N ₂	39,0	38,6

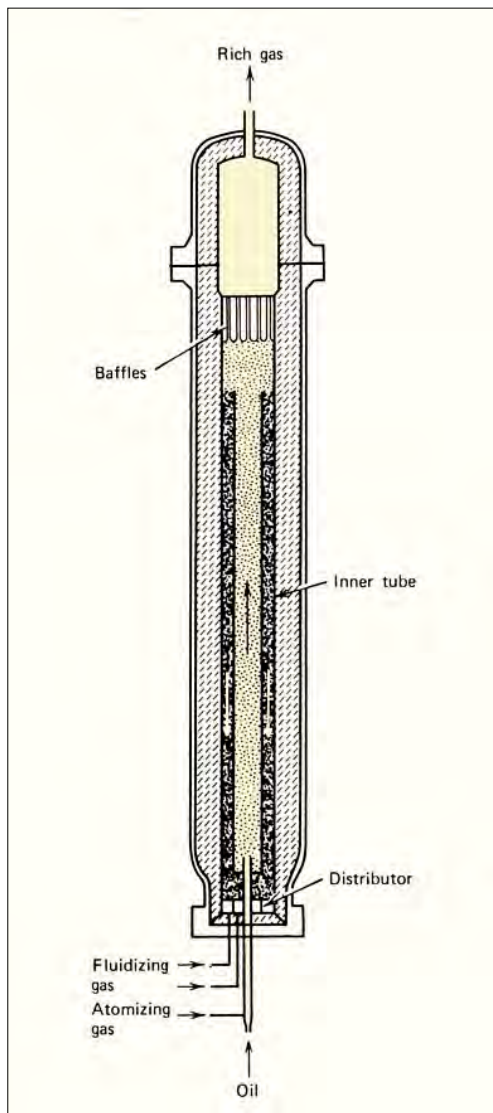
5.3.8. Obtención de gas natural a través del procesado de hidrocarburos

Al tratar de la gasificación del carbón se ha explicado que la hidro-gasificación permitía, mediante dos o tres procesos en serie, obtener gas natural sintético. Lo mismo sucede con los hidrocarburos líquidos, que tienen mayor capacidad para generar gas natural de síntesis (GNS). La base de las reacciones químicas es la misma que con el carbón y por tanto los métodos son similares; en unos se trata de reducir el gas obtenido en los sistemas de gasificación de los hidrocarburos, que contiene alrededor del 60 % de óxido de carbono (CO) e hidrógeno (H₂), en metano (CH₄). En otros se trata de hacer reaccionar directamente el carbono con el hidrógeno siguiendo la reacción



Un procedimiento sigue este último método de hidrogenación, donde el hidrocarburo y el hidrógeno se introducen en un reactor a alta presión, entre 50 y 70 bar, que se encuentra a la temperatura de 750 °C. La temperatura, a causa de la reacción exotérmica, es controlada mediante la técnica del lecho fluido, con introducción del nuevo elemento a reaccionar. Dentro del reactor las cadenas de hidrocarburos se rompen y se produce la reacción esperada de forma que a la salida del reactor se obtiene un gas que contiene un 45% de gas metano. Del gas producido se efectúa una extracción parcial para conseguir un gas con alta proporción de hidrógeno que se reintroduce en el reactor, pues es lo que necesita el proceso para mantenerse funcionando. Con una adición de propano el gas resultante puede ser distribuido como sustituto del gas natural. La primera aplicación industrial de

este proceso fue instalada en Osaka (Japón) en 1969. (British Petroleum, 1972:154)



Reactor desarrollado por *UK Gas Council* para hidrogenación en lecho fluido (Kirk-Otmer, 1980: vol 11-437).

También se ha indicado anteriormente que con el proceso de obtención de Gas Rico Catalítico (CRG) el resultado era un gas con un 61% de metano. En este método, utilizado por varios constructores, se opera a baja temperatura y con presión media, entre 10 y 25 bar, con una

300 °C, ya que las reacciones son exotérmicas y el calor producido también se aporta al reactor.

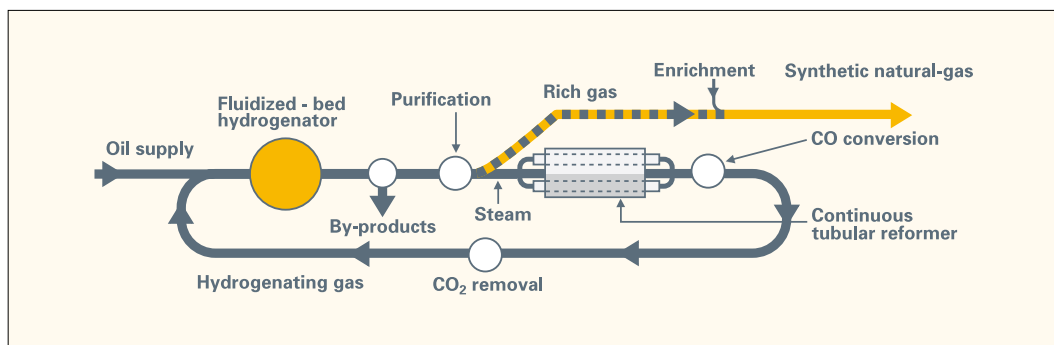
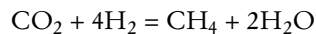
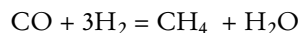


Diagrama de la obtención de gas natural sintético (GNS) a partir de hidrocarburos (British Petroleum, 1972: 152).

proporción débil de vapor de agua respecto del hidrocarburo, lo que proporciona un resultado óptimo, mediante catalizadores de alta actividad que permitan reaccionar a la temperatura de 350 °C sin degradarse. Así se llega al 75% de metano e hidrógeno.

Con ambos métodos el gas obtenido contiene aun cantidades notables de hidrógeno, de CO y de CO₂ que es necesario reducir si se desea un gas que pueda sustituir al gas natural. El método consiste en transformar estos componentes en metano mediante su reacción con el hidrógeno, ello se efectúa en presencia de un reactor catalítico a baja temperatura, unos

También se pueden hidrogenar los hidrocarburos superiores al metano que contiene el gas resultante, transformándolos en metano.

Estas metodologías, y otras basadas en los métodos anteriormente indicados pero con variantes, para la obtención de gas natural sintético, fueron desarrolladas por compañías petrolíferas o energéticas para poder disponer de gas natural en periodos de punta de demanda. Estados Unidos, Gran Bretaña o Japón han sido los países con mayor número de plantas de GNS, España no tiene ninguna hasta el momento.

5.4. La utilización en España de las nuevas tecnologías

“La Catalana de Gas y Electricidad fue la primera sociedad española que utilizó hornos de retortas verticales (en 1906), que produjo gas de agua carburado con gas-oil en 1934 y que, en 1956, instaló también la primera unidad de gasificación catalítica de fuel-oil pesado (procedimiento ONIA-GEGI); hoy en día aún es la primera en craquear esencias ligeras con la puesta en explotación de cuatro grandes unidades ONIA-GEGI que, por su potencia y su automatismo, figuran entre las más importantes del mundo y donde la capacidad total de producción es largamente superior al consumo total de España” (Marquet, 196: 471).

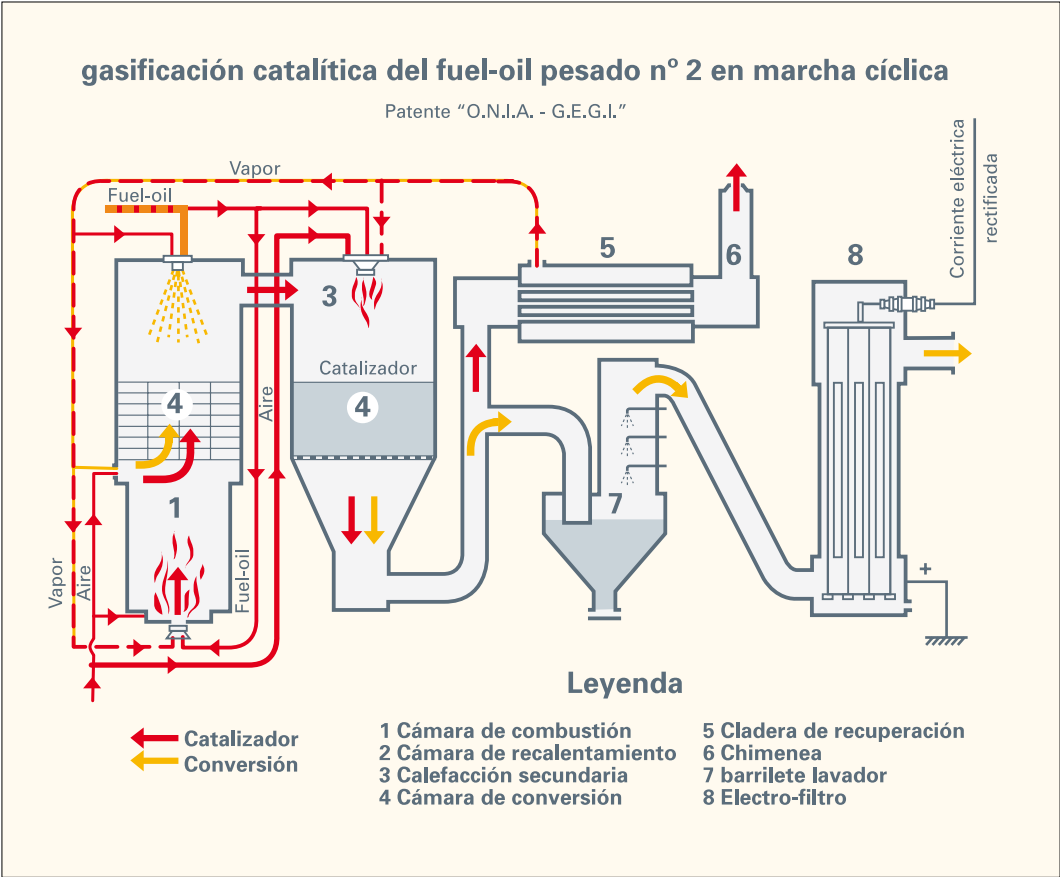
En esta sucinta descripción se refleja la adopción en España de una tecnología de producción de gas que se había desarrollado en Francia. Las empresas francesas ONIA y GEGI se habían unido en 1946 para desarrollar procesos de craqueado y reformado de hidrocarburos, con ello continuaban una trayectoria iniciada mucho antes. La tecnología francesa, aunque ya se ha visto que no era la única, era, en Catalana, más cercana que la inglesa, y además permitía obtener todo tipo de gases: gas ciudad y gases ricos mediante el método catalítico cíclico y posteriormente, el método catalítico continuo. Eran procesos que se podían adaptar a cambios de la materia prima empleada y cuando se proyectó el primero para Barcelona ya estaban implantados en varias ciudades francesas y de otros países. El gas resultante en el proceso cíclico tenía un poder calorífico de 3.250 kcal/m³ y en el caso del proceso continuo era inferior y tenía que ser enriquecido posteriormente.

La primera planta de gasificación de fuel-oil

pesado se instaló en la fábrica de gas de Sant Martí en Barcelona. Funcionaba mediante el método de craqueado catalítico con una capacidad de producción de 33.000 m³/diarios. El esquema muestra el funcionamiento de la instalación durante los dos ciclos, el rojo corresponde al ciclo de calentamiento de las cámaras y el amarillo a la producción de gas.

Y la previsión que supuso la instalación de las cuatro unidades de craqueado de nafta representaba aumentar hasta 5.544.000 termias/día, lo que ciertamente da una referencia de la importancia que aquella instalación representaba para el suministro de la ciudad. La modernización implicaba a corto plazo la eliminación de los hornos y del uso del carbón como elemento principal en la obtención de gas.

La década de 1960 representó para España una década de cambios en lo que se refiere a la producción de gas, que fueron liderados por *Catalana de Gas y Electricidad* en sus dos fábricas de Barcelona. Esto provocó que la producción de gas de nafta pasara a ser más importante que la del gas de hulla. Era una consecuencia directa de las premisas marcadas en el 1er Plan de Desarrollo, donde se favorecía y apoyaba la utilización de la gasolina ligera no carburante, es decir, la nafta, un hidrocarburo obtenido de las refinerías de petróleo españolas, que se consideraba un subproducto pero que su capacidad para obtener hidrocarburos gaseosos estaba probada desde hacía años. Por esto se incitó desde la administración española a utilizar este hidrocarburo y reducir el consumo de carbón que en parte era



Esquema de la primera instalación española de producción de gas por craqueado de fuel-oil.
Se destacan las circulaciones de cada uno de los dos ciclos del proceso (AHFGNF).

Cuadro 5.15. Catalana de Gas. Capacidad de producción de gas en 1960

Medios de producción	Capacidad
Hornos de retorta de carbón	1.050.000 termias/día
Gas de agua	280.000 termias/día
Craqueado de fuel-oil	260.000 termias/día

Fuente: Marquet, 196: 472.

importado. Con la sustitución de la destilación de la hulla por el sistema de “Reforming” se produjo un importante paro tecnológico. Así se conoció en aquella época el hecho de que muchos de los empleados de las fábricas de gas se quedasen sin empleo a causa de la menor carga de trabajo que representaba la manipulación de los hidrocarburos frente a la manipulación del carbón de hulla en los procesos de obtención de gas. Pero como ha sucedido a menudo en la industria, la innovación tecnológica se impuso.

Bajo aquella premisa, se estableció en España una constante de construcción de instalaciones de producción de gas a través de la nafta en todo el territorio. Además de Barcelona, en 1962 *Gas Madrid* instalaba en la fábrica de gas de Ronda de Toledo, en Madrid, una planta de craqueado térmico de fuel-oil, capaz de producir 333 m³/día. En 1965 ampliaba la producción con otras dos líneas de reformado catalítico de nafta bajo presión, tecnología SEGAS, capaz de producir 333 m³/día. El poder calorífico aumentó de 3.500 a 4.000 kcal/Nm³ y además se aprovechó para reducir el contenido de monóxido de carbono (CO) del gas resultante (Gas Madrid, 1996: 42,73).

Otros ejemplos de su implementación en los primeros años de la década fueron las fábricas de Bilbao, Madrid o Vilafranca. En 1963 la fábrica municipal de gas de Bilbao empezaba el proyecto de instalación de 2 líneas de craqueado catalítico de nafta con una capacidad de producción unitaria de 24.000 m³/día. En el año 1964 se instalaban en la fábrica de gas de Valladolid dos líneas de reformado catalítico ONIA-GEGI con una capacidad de producción de 8.000 m³/día cada una. En mayo de 1965 se construía una pequeña planta de reformado catalítico en Vilafranca del Penedès, con una línea de 6.000 m³/día de gas utilizando la

tecnología ONIA-CEGI, el gas emitido tenía 4.200 kcal/m³ y en noviembre de 1968 se ampliaba con una segunda unidad idéntica. En marzo de 1966 la empresa Fuerzas Eléctricas de Cataluña, que explotaba una red de distribución de gas manufacturado en la ciudad de Girona, comenzó a suministrar desde su pequeña fábrica de gas de Pont Major, el gas obtenido en una planta 28.000 m³/día que utilizaba el método de reformado cíclico catalítico ONIA-GEGI.



Equipos de reformado catalítico de la fábrica de gas de Vilafranca del Penedès (Gas Penedès: 1994: 34).

La tabla que sigue muestra este gran cambio en la tecnología de producción de gas, que llevó aparejada la ampliación en extensión y en capacidad de las redes de distribución, pero que mantuvo el mismo poder calorífico del gas emitido en comparación con el gas de hulla, así como sus propiedades físicas de combustión que se resumen en un indicador llamado índice de Wobbe.

apartados anteriores, y utilizado por las grandes fábricas que necesitaban rendimientos mayores. Aunque la tecnología de los procesos fuese similar, se instalaron varios sistemas de producción, los primeros fueron con tecnología ONIA-GEGI, y posteriormente se introdujeron las tecnologías impulsadas por empresas como CIFUINDUS o KOPPERS como se puede observar en la tabla que sigue.

Cuadro 5.14. Producción de gases en España (millones de metros cúbicos)

	Total	del carbón	de fuel-oil o gas-oil	de naftas	Otros
1961	386,0	-	-	-	-
1962	402,0	-	-	-	-
1963	400,0	-	-	-	-
1964	400,9	215,5	35,5	133,0	16,9
1965	425,8	130,9	27,7	246,5	20,7
1966	464,2	97,5	24,4	322,6	19,7
1967	536,5	75,1	14,4	421,0	26,0
1968	627,6	32,5	3,8	568,0	23,3
1969	709,7	30,7	3,7	572,8	102,5

Fuente: SEDIGAS.

Así pues, entre 1963 y 1970 la casi totalidad de las fábricas de gas españolas se fueron adaptando a las nuevas tecnologías que utilizaban hidrocarburos, principalmente nafta, para aumentar la producción y reducir su coste. Debe distinguirse entre los dos procesos utilizados, el craqueado térmico y el catalítico, el primero más utilizado por las pequeñas y medianas fábricas, a causa de su sencillez de funcionamiento y el segundo más desarrollado como se ha descrito en los

En algunas fábricas estos nuevos sistemas funcionaron al mismo tiempo que los antiguos hornos de carbón, pero después de unos años, estos fueron dejando de funcionar y la producción de gas de nafta tomó el relevo de forma completa.

Como complemento se describe la evolución que tuvieron las dos plantas más importantes de España, las dos de Barcelona y la de Madrid.

Cuadro 5.15. Tipología de los procesos utilizados en las fábricas de gas españolas

Fábrica	Proceso instalado	Suministrador
Barcelona - Barceloneta	Cracking catalítico de nafta	ONIA-GEGI
Barcelona- Sant Martí	Cracking catalítico de nafta	ONIA-GEGI
Bilbao	Cracking térmico de nafta	
Cádiz	Cracking térmico de nafta	
Figueres	Cracking térmico de nafta	
Gijón	Cracking térmico de nafta	
Girona	Cracking catalítico de nafta	ONIA-GEGI
Lleida	Cracking catalítico de nafta	ONIA-GEGI
Madrid – Ronda de Toledo	Cracking térmico de fuel-oil Cracking catalítico de nafta	SEGAS
Madrid - Manoteras	Cracking catalítico de nafta	SNAM, LURGI, KOPPERS Y POWERGAS
Málaga	Cracking catalítico de nafta	CIFUINDUS
Manresa	Cracking térmico de nafta	CIFUINDUS
Murcia	Cracking térmico de nafta	
Oviedo	Cracking catalítico de nafta	
Palma de Mallorca	Cracking catalítico de nafta	P-9 (Francia)
San Sebastián	Cracking térmico de nafta	CIFUINDUS
Santander	Cracking catalítico de nafta	
Sevilla	Cracking catalítico de nafta	ONIA-GEGI
Tarragona	Cracking catalítico de nafta	IP (Milán)
Valencia	Cracking catalítico de nafta	CIFUINDUS
Valladolid	Cracking térmico de nafta	ONIA-GEGI
El Vendrell	Cracking térmico de nafta	
Vic	Cracking catalítico de nafta	
Vilafranca del Penedès	Cracking catalítico de nafta	ONIA-GEGI
Vilanova i la Geltrú	Cracking catalítico de nafta	ONIA-GEGI y CIFUINDUS
Zaragoza	Cracking térmico de nafta	

Fuente: elaboración propia.

5.4.1. Las plantas de Barcelona

La primera instalación ONIA-GEGI empezó a funcionar en mayo de 1963 en la fábrica de Sant Martí y en 1964 empezaba a funcionar en la fábrica de la Barceloneta. No eran las primeras, ya que como se ha dicho anteriormente esta planta tenía desde 1956 una unidad de gasificación de fuel-oil pesado. El procedimiento instalado consistía en una desulfuración y un horno de reformado.

Ambas instalaciones se basaban en el reformado de nafta. La instalación de San Martí consistía en dos líneas ONIA-GEGI tipo 10 Cr-ED con una capacidad de producción de 360.000 m³/día de gas de 4.200 kcal/m³. El proceso era cíclico y se dividía en dos fases que se alternaban en intervalos de algo más de 1 minuto cada uno. La primera fase era la de calentamiento, en ella se quemaba hidrocarburo en una cámara y los gases de combustión pasaban a través de un apilamiento cerámico que actuaba como un acumulador de calor, después pasaban por la cámara de reacción y finalmente salían por los conductos de evacuación o chimenea. La segunda fase era la de producción de gas.

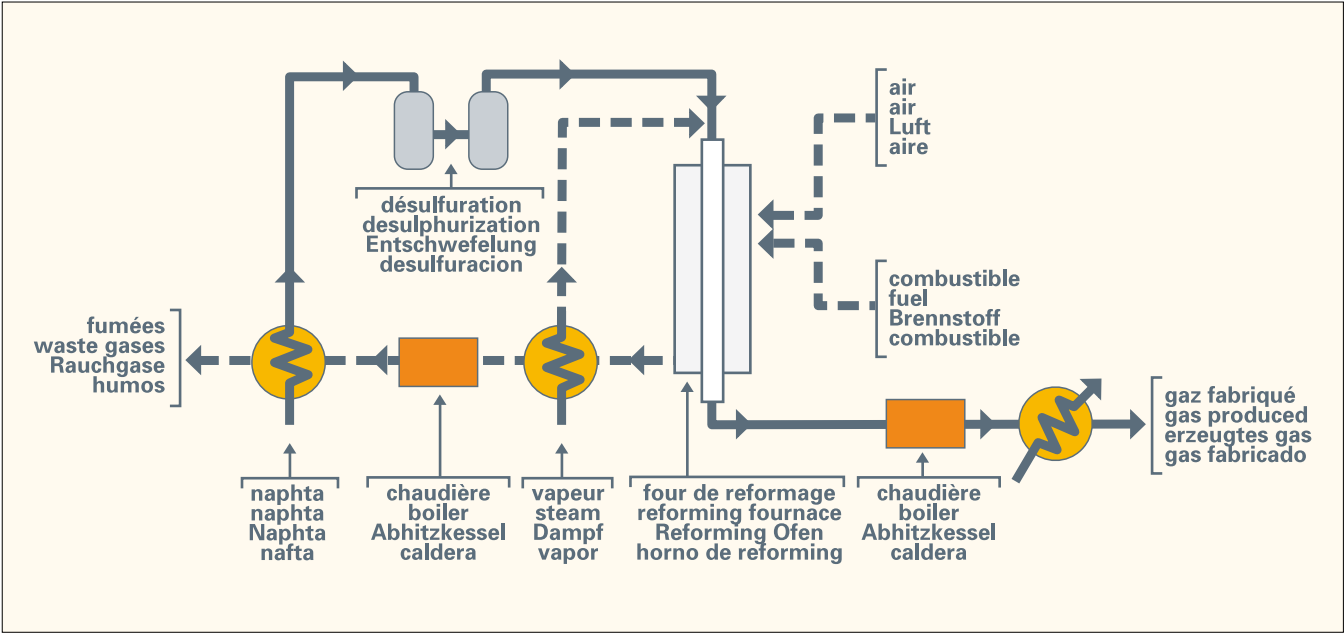
En ella se introducía vapor de agua en el acumulador de calor y pasaba después a la cámara de reacción, en el mismo momento en que se introducía por otro conducto la nafta. De la reacción entre el vapor de agua, y el hidrocarburo en presencia del catalizador se obtenía una mezcla de gases que era enviada al depósito de lavado para seguir su camino hacia el gasómetro. Al final de cada fase del ciclo circulaba vapor de agua para limpiar el conjunto de depósitos no deseados como el carbón. Así pues, el desarrollo del proceso quedaba definido mediante estas dos fases, una productiva y una no productiva, y por el consumo de nafta, tanto para el proceso como para el calentamiento previo. El rendimiento de la instalación tomaba en consideración estos parámetros. La cámara de reacción era de forma cilíndrica revestida de ladrillo refractario en su interior, el catalizador estaba situado dentro de tubos verticales por donde pasaba la mezcla. Una desulfuración previa permitía que el catalizador funcionara perfectamente.

Con este proceso se obtenían 1.700 m³ por hora de gas cuyo poder calorífico superior era de 3.230 kcal/m³.

Cuadro 5.16. Proceso ONIA-GEGI

Proceso	Tiempo de cada fase	Consumo de nafta
Fase de calefacción	79 segundos	135 kg/h
Fase de producción	72 segundos	427 kg/h
Purgas de vapor	12 segundos	163 kg/h

Fuente: Berdonces y Bou, 1971: 14.



Esquema del proceso general de ONIA-GEGI para el reformado de la nafta (ONIA-GEGI, 1965:5).

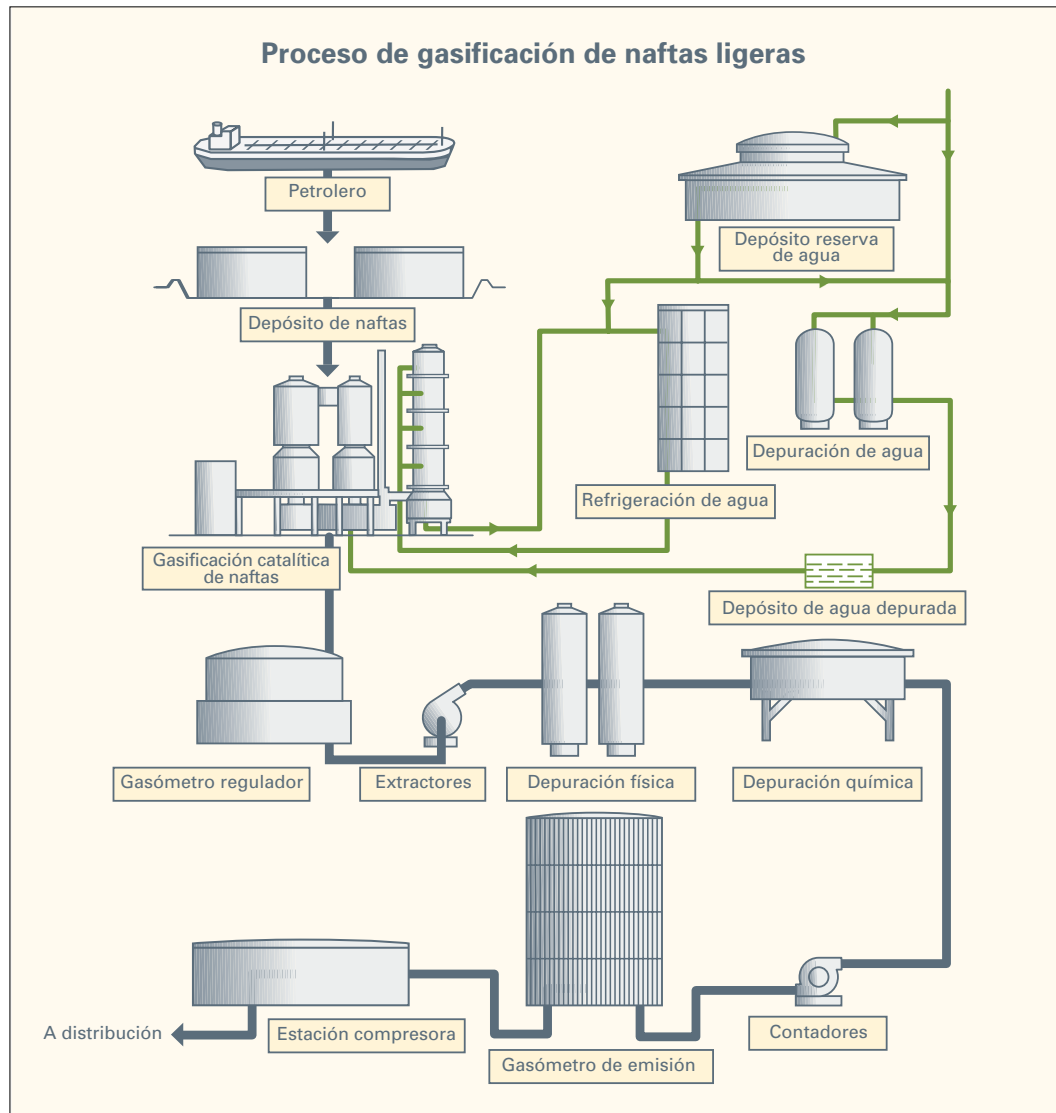
Cuadro 5.17. Composición del gas resultante

Componentes del gas	Utilizando Nafta
CH ₄ (Metano)	2%
C _n H _m (Etano y superiores)	8 %
H ₂	54%
CO	16%
CO ₂	9%
O ₂	1 %
N ₂	10%

Fuente: Berdonces y Bou, 1971: 14.

El proceso general de obtención del gas de nafta queda representado en la gráfica que realizó *Catalana de Gas y Electricidad*

en mayo de 1963 para la junta general de accionistas de la empresa.



Memoria de catalana del Gas y Electricidad de 1963 (AHFGNF).

Los procesos de almacenado y la depuración del gas, tanto física como química eran similares a los de la fabricación del gas a partir del carbón. La depuración física también incorporaba un equipo para eliminar la naftalina que se formaba y que solidificada podía obstruir los conductos. Mediante el lavado del gas con gas-oil esta sustancia, que ya aparecía también en el proceso de la destilación de la hulla cuando era de alto contenido en azufre, quedaba disuelta y eliminada. La depuración química eliminaba el ácido sulfhídrico (SH_2) mediante una reacción con óxido de hierro.



El equipo ONIA-GEGI durante el proceso de instalación en 1963 (AHFGNF).

La implantación de las dos líneas de la planta de Sant Martí y posteriormente las dos de la Barceloneta, permitieron adaptar la producción al crecimiento de la demanda.

La tecnología del reformado de hidrocarburos ha sido un proceso que ha tenido muchas implementaciones y variantes, todas buscaron mejorar el resultado, o bien en lo que se refería a la composición del gas final o del rendimiento del

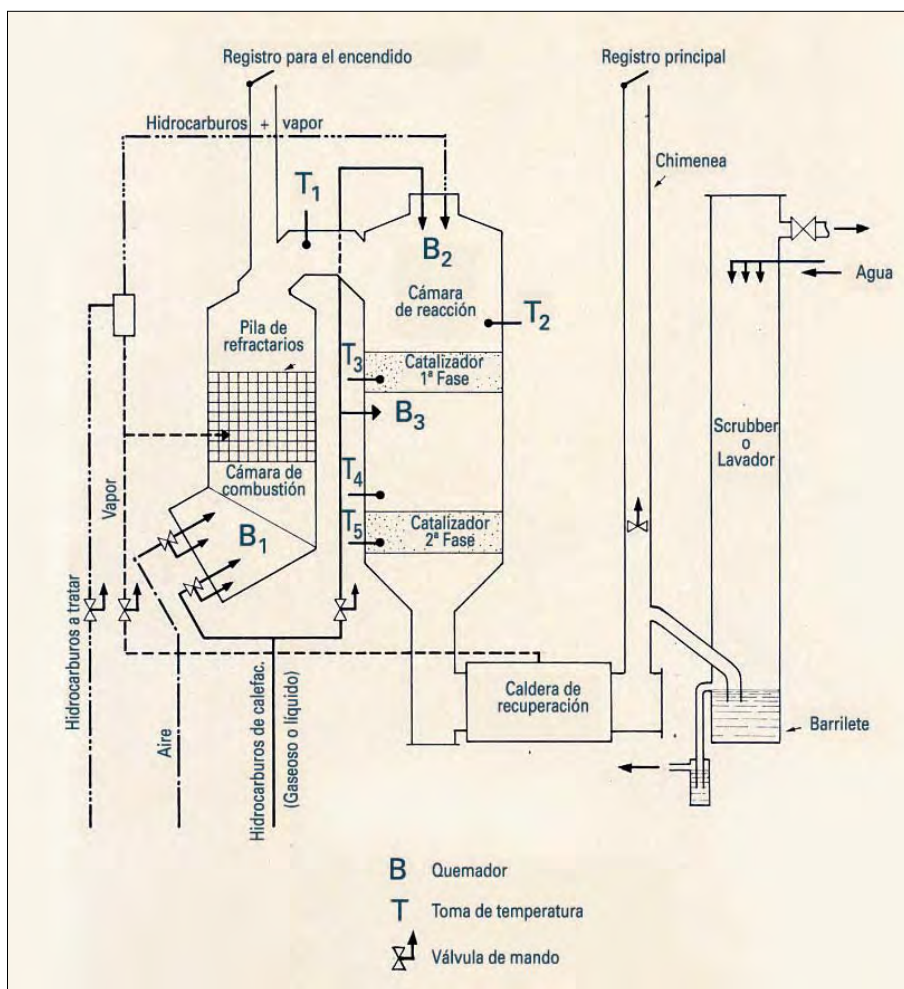


Imagen de las cámaras de "Reforming" y combustión de la planta de San Martí (AHFGNF).

proceso. En Barcelona se implementó una novedad en los equipos ONIA-GEGI existentes. Fue a finales de los años 60 cuando se adoptó introducir aire mezclado con vapor de agua, esta situación rebajaba el poder calorífico del gas resultante al tener básicamente mas presencia de nitrógeno (N_2) pero la producción de gas era superior.



Fábrica de la Barceloneta. Instalación de los equipos ONIA-GEGI de producción de gas de nafta (AHFGNF).



Esquema de funcionamiento del proceso ONIA-GEGI con introducción de aire junto con el vapor (AHFGNF).

Otra implementación más importante fue la adopción de una variante que reducía la fase no productiva de calefacción. Esta variante se caracterizaba porqué durante la fase de producción se mantenía de forma parcial la combustión

de hidrocarburos para el calentamiento y se introducían estos gases junto con la nafta en la cámara de reacción y además se mantenían durante las dos fases de purga de vapor. La ventaja era que se producía más gas, además los quemadores de

hidrocarburo estaban siempre en funcionamiento y no había fase de encendido. Finalmente no se reducía tanto la temperatura del material del catalizador y la actividad catalítica podía ser mayor. La planta era la misma pero se habían realizado modificaciones en el control de los quemadores

Con este proceso se obtenían 2.500 m³ por hora de gas cuyo poder calorífico superior era de 3.130 kcal/Nm³.

La líneas ONIA-GEGI de Sant Marti y Barceloneta fueron pues modificadas para poder producir hasta los 20.000 m³ de gas por hora. Trabajaban de forma continua entre las 7 de la mañana y las 11 de la noche, la demanda de gas entre las 11 de la noche y las 7 de la mañana se efectuaba con el gas acumulado en los gasómetros, que eran también muy utilizados en las horas punta, como en el caso del carbón. En el año 1965 se efectuó una transformación

Cuadro 5.18. Proceso ONIA-GEGI modificado

Proceso	Tiempo de cada fase	Consumo de nafta
Fase de calefacción	88 segundos	99 kg/h
Fase de producción	177 segundos	680 kg/h
Purgas de vapor	11 segundos	255 kg/h

Fuente: Berdonces y Bou, 1971: 16.

Cuadro 5.19. Composición del gas resultante del proceso modificado

Componentes del gas	Utilizando Nafta
CH ₄ (Metano)	2%
C _n H _m (Etano y superiores)	9 %
H ₂	42%
CO	13%
CO ₂	9%
O ₂	1 %
N ₂	24%

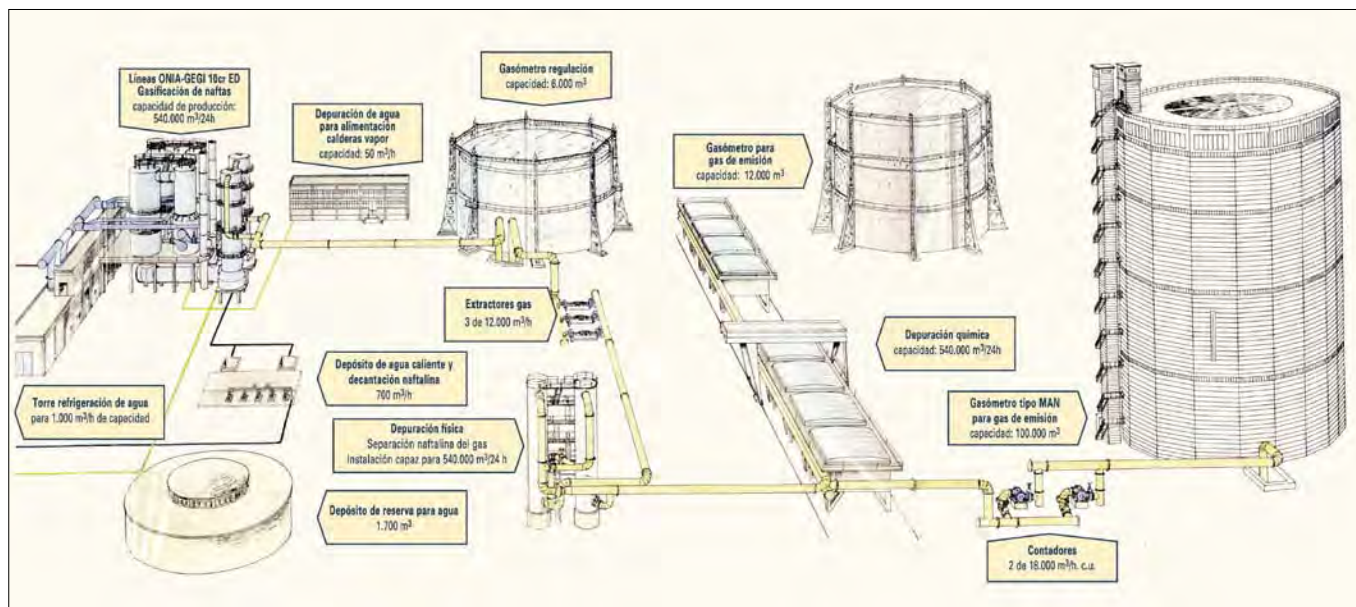
Fuente: Berdonces y Bou, 1971: 16.

En todos los casos el gas final se enriquecía con vapores de nafta (pentanos) para que alcanzase el poder calorífico de referencia de distribución de 4.200 kcal/m³. Posteriormente en lugar de vapores de nafta se utilizó el gas natural.

utilizando nafta sin azufre, lo que evitaba la producción de naftalina. También en el mismo año se modificó el catalizador. Todas estas renovaciones estaban dirigidas a proporcionar mayor producción de gas con mayor calidad.

La introducción del gas natural a partir de los años 1970 influyó en el proceso de fabricación de gas ciudad. El gas natural se utilizó para el reformado en lugar de la nafta, pues este hidrocarburo se había ido encareciendo paulatinamente porque tenía mucha utilidad en la industria petroquímica y siendo el gas natural mucho más económico se eliminó por completo el uso de la nafta en el reformado.

Constaba de tres líneas (DB-I, II, III) de reformado catalítico continuo de nafta con una capacidad de producción de cada línea de 200.000 m³/día y utilizaba el proceso ICI, combinado con el proceso Gas Recycle Hidrogenator (GRH) desarrollado por Gas Council de Gran Bretaña, de tecnología italiana de SNAM. Mediante los dos procesos se producía un gas de poder calorífico superior



Esquema de la nueva fábrica de San Martín (AHFGNF).

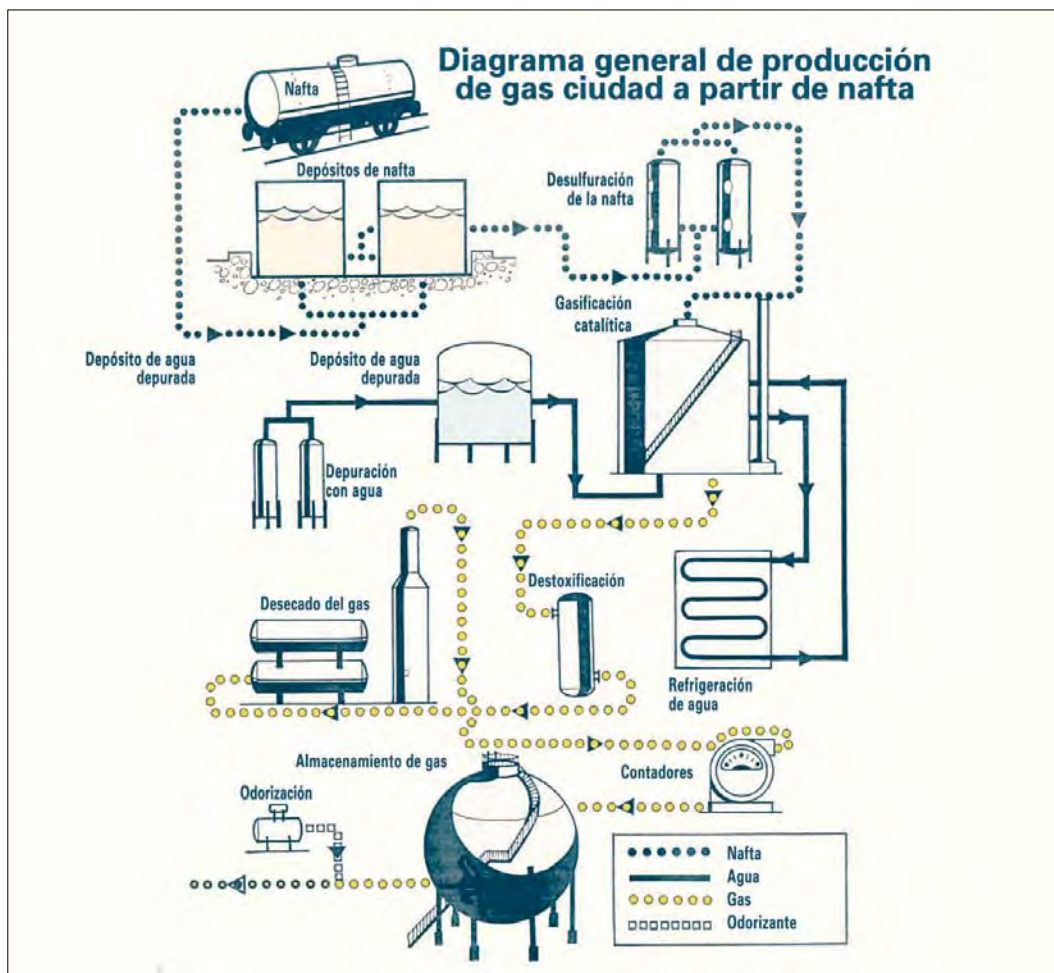
5.4.2. La planta de Madrid

La planta de Manoteras de Madrid se puso en servicio en julio de 1967 y respondía al sistema de craqueado catalítico en proceso continuo y a alta presión, con una instalación ligera y muy automatizada que en aquel momento fue la de tecnología más moderna y novedosa de España.

de 4.200 a 4.500 kcal/Nm³ a 20 kg/cm² y además de la nafta, también podía utilizarse el gas natural como materia prima. La fábrica se inauguró con siete gasómetros esféricos de 1.640 m³ cada uno, que mantenían el gas a la presión de 15,1 kg/cm².

El sistema SNAM consistía primero en hacer pasar la nafta vaporizada por una columna de desulfuración que contenía un catalizador de níquel/molibdeno y donde una adición de hidrógeno permitía reducir a mínimos el contenido en azufre de la nafta. La nafta desulfurada se mezclaba con vapor de agua

en la proporción conveniente para que no permitiese formación de carbono y el conjunto, a una temperatura de 420°C pasaba a través de los tubos interiores de las columnas de reacción en donde estaba el catalizador compuesto de níquel con alúmina y óxidos de potasio. Los quemadores que daban la temperatura precisa



Esquema de craqueado catalítico (Enciclopedia Oil-Gas, 1970: 263).

estaban en la parte superior. El gas obtenido, con un porcentaje de 11% de monóxido de carbono (CO), se introducía en un recipiente y se hacía reaccionar con óxidos de hierro activados con cromo para reducir su contenido en CO por debajo del 3%. La última operación reducía el nivel de humedad del gas (*Gaz d'aujourd'hui*, año 1970: 446) (Gas Madrid, 1978:14). El gas obtenido en este proceso tenía un poder calorífico de solo 3.200 kcal/m³ y era necesario su enriquecimiento. Ello se efectuaba en un segundo proceso, el GRH, en el cual se introducía un tercio del gas anterior



Equipos de reformado catalítico SNAM de la planta de Manóteras, Madrid (Gas Madrid, 1996: 37).

mezclado con nafta hidrogenada proveniente de la etapa de desulfuración y se calentaba el conjunto a 750 °C. La reacción proporcionaba una metanización de la nafta por reacción con el hidrógeno contenido en el gas dando lugar a un gas rico de 6.500 kcal/m³ que finalmente se mezclaba en la debida proporción con el resto, es decir, con los dos tercios de gas pobre no procesado.

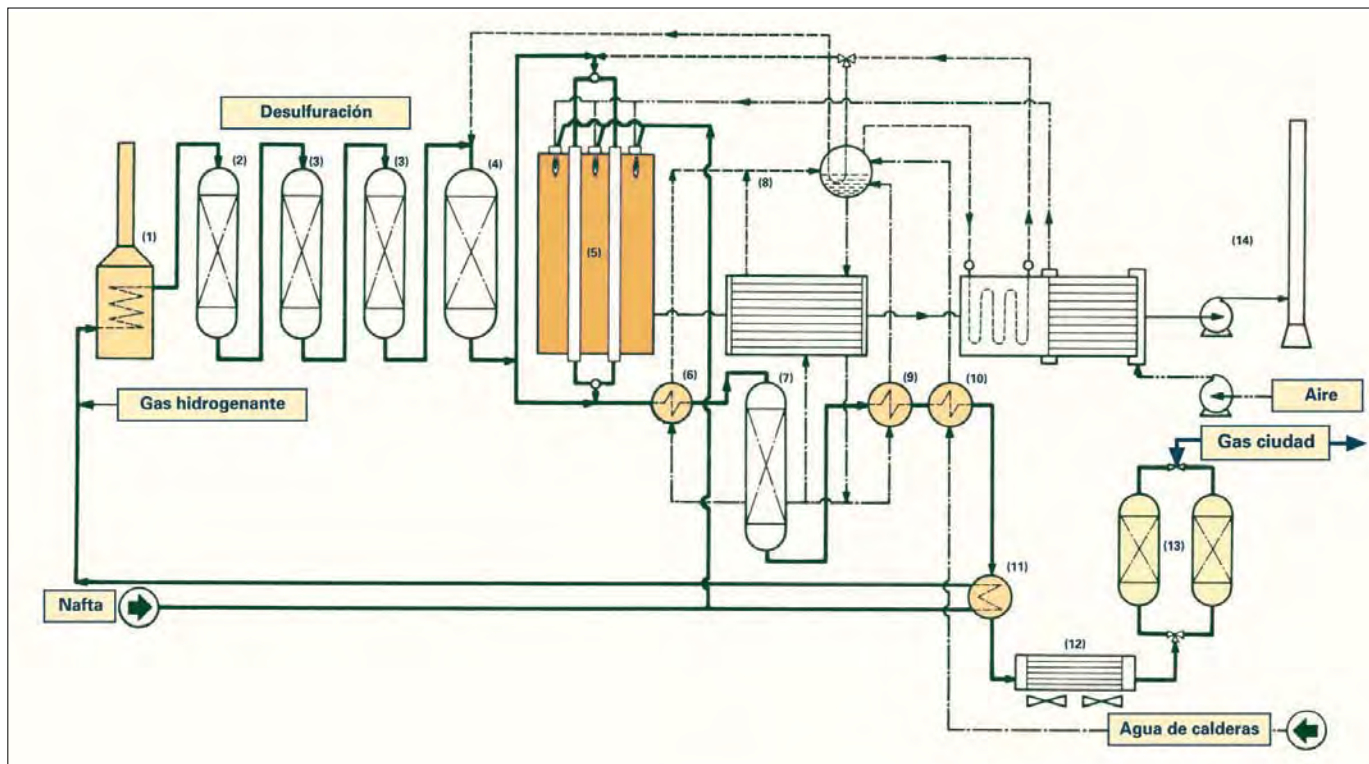
Posteriormente la planta de Madrid se amplió con dos líneas (K-I y K-II) de reformado catalítico

Koppers, una, de 400.000 m³/día en diciembre de 1968 y la otra de 600.000 m³/día en diciembre de 1969. En mayo de 1978 quedaba en servicio una nueva línea (DPG) de craqueado de 500.000 m³/día suministrada por Davy-Powergas. Las tres seguían el proceso técnico CRG expuesto anteriormente en el punto 5.3.6. La nafta pasaba antes por un proceso de desulfuración similar al que utilizaban las tres líneas Snam pero el porcentaje máximo de azufre era inferior a causa de la mayor sensibilidad que el catalizador presentaba hacia la presencia de azufre y su posible desactivación o envenenamiento prematuro. El gas obtenido tenía gran contenido de metano y por tanto un alto poder calorífico. Para adecuarlo a las características del gas ciudad una parte del mismo se reformaba en un segundo reactor con catalizador de níquel y el gas resultante se mezclaba con el gas rico anterior que no se había reformado. En este reprocesado, a diferencia del gas obtenido en las plantas SNAM, en lugar de buscar aumentar el poder calorífico se buscaba lo contrario, disminuirlo. Al final del proceso se convertía el CO en CO₂ igual que el sistema SNAM (Gas Madrid, 1978:16; Gas Madrid, 1996:48).



Equipo I de reformado catalítico Koppers de la planta de Manóteras, Madrid (Gas Madrid, 1996: 52).

5. Nuevos métodos de producción de gas



Esquema del proceso de gas rico reformado tubular que seguían las líneas Koppers y Powergas.

1	Calentador	8	Tambor de vapor
2	Reactores NI-MOX	9	Caldera de gas convertido
3	Reactores de ZnO	10	Calentador de agua
4	Reactor de gas rico	11	Calentador de nafta
5	Reformador	12	Precalentador de aire
6	Caldera de gas reformado	13	Unidad de secado
7	Convertidor de CO	14	Chimenea

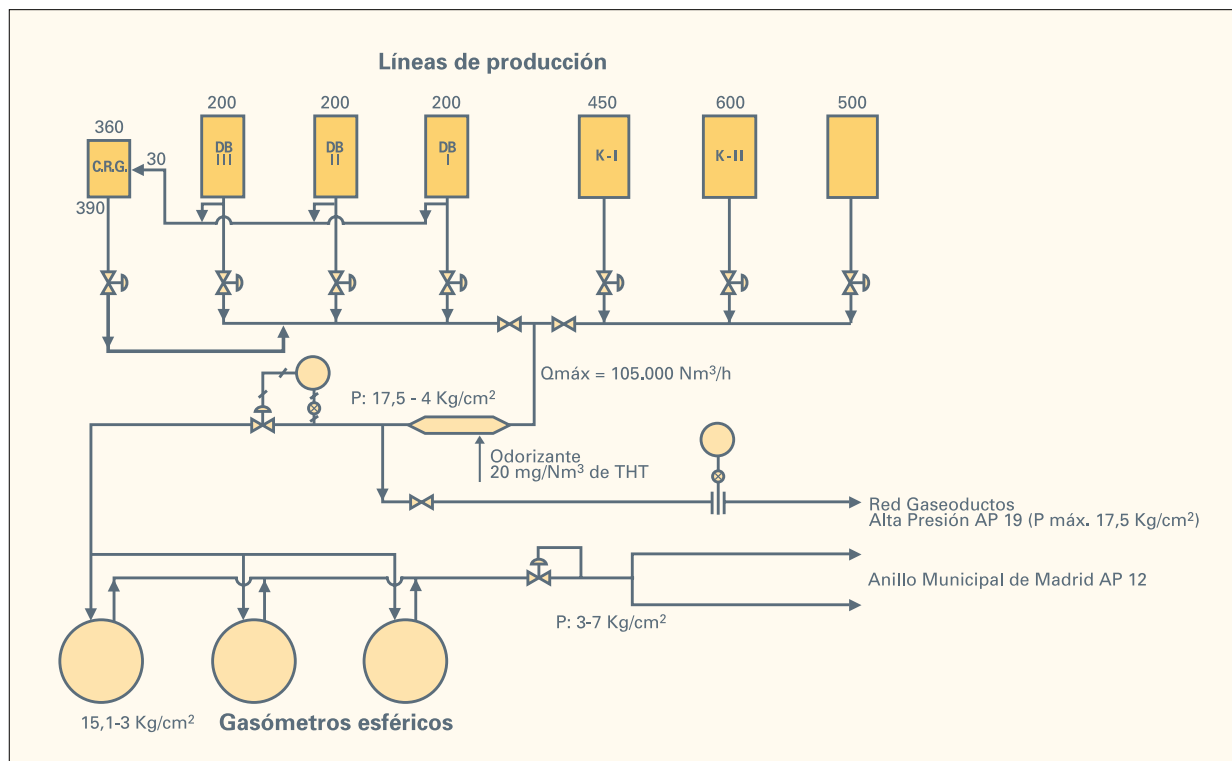
(Gas Madrid, 1978: fig3).

En noviembre de 1979 entraba en servicio una nueva línea de producción de gas rico, con una capacidad de producción de 390.000 m³/día. Este proceso estaba basado en el mismo proceso GRG pero con la tecnología de la empresa Lurgi.

En conjunto, la planta de Madrid tenía la distribución que muestra el esquema que sigue. Todo el gas de emisión tenía un poder calorífico de 4.200 kcal/m³ pero se distribuía en dos sistemas, uno de alta presión y otro de media presión

En 1984 la capacidad de los gasómetros era de 39.360 m³ con un total de 24 esferas.

En mayo de 1987 el gas natural llegaba a la fábrica y empezaba la conversión del funcionamiento de nafta a gas natural de las distintas líneas de producción de gas manufacturado. Solo las tres líneas que seguían el proceso Snam estaban previstas para funcionar también con gas natural, lo que requirió una actuación tecnológica destacable en las otras cuatro líneas, similar a la que se había realizado en la planta de gas de Berlín (Gas Madrid, 1996:55-59).



Esquema de la planta de fabricación de gas de Manoteras, Madrid (Gas Madrid, 1978:19).

5.5. Gases de transición

El gas natural se considera el combustible menos contaminante en lo que se refiere a los productos que genera su combustión, pero hasta que no se descubrieron los distintos yacimientos y no se explotaron los mismos, el gas manufacturado, ya fuera procedente del carbón o de los hidrocarburos, fue utilizado predominantemente excepto en unos pocos países. Pero en la medida que la nafta se iba convirtiendo en una materia prima necesaria en la industria petroquímica y se iba encareciendo, el gas de nafta iba siendo cada vez más caro de producir, y como consecuencia fue decayendo su consumo para, al mismo tiempo, empezar a utilizar el gas natural o los gases licuados del petróleo y superar la previsible desaparición de la nafta del mercado del gas.

Con la adopción del gas natural, la posibilidad de su utilización directa quedó limitada inicialmente solo a la industria y a algunas nuevas edificaciones, porque las propiedades de este gas no eran compatibles con los quemadores de gas ciudad utilizados por los usuarios. El mayor poder calorífico del gas natural y su menor densidad, hacían que la combustión en los quemadores de gas ciudad no fuera adecuada y por tanto incompatible, siendo necesaria una adaptación completa de los quemadores.

En la primera mitad del siglo veinte la intercambiabilidad de los gases fue estudiada muy detenidamente. El continuo crecimiento de la demanda obligó a buscar nuevas técnicas de fabricación y a utilizar gases que no habían sido aprovechados anteriormente, como los de refinerías y otros. Cuando se introducía un nuevo gas, utilizando los quemadores de gas existentes, se pudo observar cómo era la combustión y como se comportaba la llama,

y de los resultados se encontraron una serie de datos experimentales que condujeron al conocimiento de las diferencias y las equivalencias entre los distintos gases que se podían emplear.

De todas las expresiones, todas empíricas, la que se ha impuesto con mayor difusión ha sido el denominado “Índice de Wobbe (W)”, que determina si hay compatibilidad entre distintos gases combustibles. Este índice relaciona el poder calorífico superior (PCS) del gas con la raíz cuadrada de su densidad relativa con el aire (ϑ), cuando la temperatura y la presión de alimentación del gas son invariables ($W = PCS / \sqrt{\vartheta}$). En el fondo este índice viene a ser una medida del calor liberado por un quemador con un orificio de salida del gas fijo y su uso ha permitido asegurar que la combustión de un gas en un quemador será siempre satisfactoria si el gas tiene el mismo índice que otro gas por el que había sido fabricado el quemador. Si no se cumple esta igualdad la cantidad de aire que se mezcla con el gas será incorrecta y el quemador no estará preparado para el nuevo gas que se quiere quemar.

Para terminar de comprender todo este tema, diremos que el poder calorífico es la energía que se obtiene en la combustión completa de una unidad de combustible. Se distinguen dos conceptos: poder calorífico superior (PCS) y poder calorífico inferior (PCI). El primero es el calor producido cuando el vapor de agua resultante de la combustión se supone ya líquido, o condensado en los productos de combustión; mientras que el segundo es este mismo valor cuando el agua resultante de la combustión se supone aún estado de vapor como los demás productos de la combustión. La diferencia entre PCS y PCI es, por tanto, el calor de condensación del vapor de agua resultante de la combustión del combustible

y depende de la proporción de los elementos carbono e hidrógeno presentes en el mismo. Para los gases combustibles más usuales la relación entre PCI/PCS es sensiblemente constante y aproximadamente igual a 0,9.

La densidad del gas también influye en el funcionamiento del quemador. El gas natural es menos denso que el aire, mientras que el

gas butano es más denso que el aire. Por eso en caso de fuga del recipiente o conducto que lo contiene, el gas más denso se deposita en las partes bajas, mientras que el gas natural lo hace en las partes altas o se diluye en la atmósfera.

La utilización del índice de Wobbe permitió efectuar una clasificación de los gases combustibles en tres familias claramente separadas:

Cuadro 5.20. Densidad relativa respecto al aire

metano	=	0,5539
etano	=	1,0382
propano	=	1,5224
butano	=	2,0067
Gas natural procedente de Argelia	=	0,5983

Cuadro 5.21. Índice de Wobbe de las tres familias de gases

Familia de gases	Tipo de gas	Mezclas de gases	Índice de Wobbe (MJ/m³)	Índice de Wobbe (kcal/m³)
1ª	Gases manufacturados	Aire propanado o aire metanado	19 a 30	4.560 a 7.200
2ª	Gas natural	Aire propanado	39 a 55	9.360 a 13.200
3ª	Gases licuados del petróleo		73 a 88	17.520 a 21.120

Fuente: Clasificación según UNE-EN 437.

Cuadro 5.22. Índice de Wobbe de las tres familias de gases

	Índice de Wobbe superior (kcal/m³)	Índice de Wobbe inferior (kcal/m³)
metano	12.735	11.452
propano	19.376	17.814
butano	22.066	20.336

Según esta clasificación, los gases de cada una de las familias pueden ser intercambiables, pero no lo son gases de familias diferentes.

Desde la década de los años 1950 se han desarrollado instalaciones que han utilizado gases de alto poder calorífico como el propano o el metano. Unas veces se han utilizado para transformarse en gas manufacturado por craqueado del gas, otras veces para enriquecer el gas manufacturado producido a partir de la madera, la hulla o hidrocarburos, y otras veces se han mezclado con aire. En todos los casos, el objetivo era reducir su poder calorífico y hacer el gas de emisión compatible con los aparatos que se utilizaban anteriormente con el gas ciudad.

El propano fue el primer gas, junto con el butano, que proveniente de la destilación de productos petrolíferos se emplearon, el primero a nivel industrial y el segundo para uso doméstico. Por eso y por sus características, el butano se ha hecho más popular aunque no haya sido distribuido por canalización como el propano.

Han sido las instalaciones de aire propanado, y posteriormente de aire metanado, las que en algunos casos se han aplicado a las redes de gas existentes o en otros casos se han aplicado también a redes nuevas de núcleos aislados debido a la facilidad que representaba su instalación. Estos son lo que llamamos gases de transición ya que han servido para poder alimentar la creciente demanda de gas para usos energéticos sin tener que construir nuevas instalaciones de fabricación de gas, que en general eran más costosas y además ya se tenía en mente que una futura distribución de gas debería ser efectuada directamente a partir del gas natural.

La primera instalación de aire propanado fue construida y puesta en servicio en la ciudad de Reus, substituía las antiguas instalaciones de destilación de hulla.

En lo que respecta a las redes existentes de gas ciudad que pasaban a funcionar con aire propanado, el referente tecnológico más importante fue el control de las fugas de la canalización. Las tuberías debían soportar el paso de un gas, que aunque sus características lo hicieran compatible desde el punto de vista de la combustión, era distinto al gas ciudad. Porque tanto el contenido de gases como el nivel de humedad que tenía, era mayor en el gas ciudad.

Bajo este criterio las juntas que componían la canalización fueron objeto de estudio para determinar qué tipos de las habitualmente empleadas, podían producir fugas a causa de la menor humedad del nuevo gas o si era necesario mantener una humedad en el nuevo gas para evitarlas. Fue un análisis tanto de laboratorio como sobre el terreno para detectar dónde se podían producir estas fugas y determinar su naturaleza, pues en el caso del gas ciudad, normalmente húmedo, los tipos de juntas utilizadas entre los tubos se apoyaban en esta propiedad del gas para conseguir mayor estanqueidad. Este análisis fue imprescindible desde el momento en que el gas ciudad fue comenzó a ser sustituido por otros gases, análisis que se debió de realizar durante bastante tiempo para tener en cuenta el hecho de que las juntas podían deteriorarse más allá de los primeros días de funcionamiento.

El cambio de gas también obligó a comprobar si los contadores seguían funcionando correctamente y si aparte de las fugas técnicas presentes en la red, presentaban errores en el contaje debido a la introducción del nuevo gas.

En Girona, por ejemplo, en 1966 se había puesto en servicio una planta de craqueado catalítico, pero la demanda de gas hizo que las previsiones de incremento fueran asumidas por una nueva planta de aire propanado con su sistema de

eyectores y regulación para emitir hasta 5.000 m³/h y posteriormente ampliarlo hasta 10.000 m³/h. Junto a esta instalación se ampliaría la red con una canalización de acero de media tensión a 4 bar de presión para alimentar la red antigua de 0,016 bar de suministro.

En Cádiz se ponía en marcha en enero de 1986 una instalación de aire propanado. Consistía en dos depósitos de propano de 29 m³ y un mezclador regulable de 800 m³/h, además de la instalación de acondicionamiento y humidificación. Era una primera etapa que siguió a finales de 1987 con un segundo depósito de 109 m³ y un mezclador de 1.600 m³/h. La fábrica contaba con un gasómetro de 4.000 m³ (Echániz Pérez, Gabriel, 1989: 3-7).

El aire propanado en Cádiz se emitía a la red mezclado con el gas ciudad. Inicialmente el aire propanado se mezcló en una proporción del 15 % y se fue ampliando hasta llegar al 60 %, de aire propanado y el 40 % de gas de hulla. Se comprobó que si se llegaba a porcentajes superiores al 60 % de aire propanado los quemadores del gas ciudad existentes se comportaban bien. Pero pasar más allá y llegar hasta el 70 % o incluso más, hasta el 100 % de aire propanado, representaba el paso de 4.200 kcal/m³ a 5.200 kcal/m³ y se debían reformar todos los quemadores y aparatos domésticos. Aunque ya se habían revisado todas las instalaciones esta era una operación importante. La

utilización del aire propanado facilitó el cierre definitivo de la fábrica de gas de hulla.

En lo que se refiere a la red de Cádiz, no se necesitó humidificar el gas emitido hasta que se superó el 50 % de aire propanado y el 50 % de gas ciudad, pero a partir de estos porcentajes fue necesaria una inyección de agua vaporizada y también se incorporó un acondicionador, todas estas operaciones tenían como objetivo mejorar los efectos de estanqueidad en las uniones.

En Sant Feliu de Guíxols, por ejemplo, empezaba a funcionar, en junio de 1977 la cuarta planta de aire metanado de España. Substituía una fabricación de gas efectuada mediante la destilación de la madera y posterior recarburación por nafta, que estaba obsoleta y con una explotación difícil de mantener. El aire metanado tenía un poder calorífico de 4.200 kcal/m³, mayor que el antiguo gas emitido, pero sin problemática debido a la intercambiabilidad entre los dos gases. El gas emitido, eso sí, debía ser humidificado, acondicionado y odorizado para minimizar la acción del nuevo gas sobre las tuberías y uniones de la red existente (López-Gil y Berdonces, 1978: 2-3).

La instalación de aire metanado en este caso consistía en:

- Depósito de gas natural licuado, aislado para mantener el gas en estado líquido a -161 °C.
- Equipo de regasificación mediante intercambiadores de calor para dar al gas natural una temperatura superior a 5 °C.
- Equipo de mezcla de gas y aire con eyectores de volumen fijo. Usualmente se utilizaban eyectores de diferente capacidad, -p.ej. en Sant Feliu de 200, 400

Cuadro 5.23. La red de gas de Cádiz en 1985

Plancha asfaltada	1,1 km
Fundición gris	32,7
Fibro cemento km	13,5 km
PVC	2,0 km
A.C.P.	21,0 km

y 800 m3/h– para adecuar la demanda a la producción.

- Equipo de acondicionamiento a base de un hidrocarburo para mantener las uniones con elastómeros bien elásticas, odorización mediante odorizante y humidificación hasta llegar a una humedad del 80 %.
- Circuitos de alimentación y reguladores de presión para conectar con la red de distribución.

En Valencia, en 1990 se construyó una instalación de aire metanado, de esta forma el cambio de Gas ciudad al nuevo gas en el centro de la ciudad quedaba reducido y aunque el aire metanado no tiene una intercambiabilidad del 100 %, se estimó que

el 95 % de los aparatos si funcionarían bien con un aire metanado de 5.000 kcal /m3. (Cuco, 1990: 306).

Como en todas las plantas de aire metanado había eyectores de gas natural de varios caudales para adaptarse a las necesidades del consumo: 2.000, 4.000, y 2 de 8.000 m3/h, pero también había otra instalación con eyectores de 250, 500, 1.000 y 2.000 m3/h que estaban previstos para las primeras fases de conversión en las que el consumo era pequeño.

En resumen, en España se ha utilizado el recurso de la mezcla de gas con aire para reducir el poder calorífico y hacerlo adecuado a los equipos de combustión de los usuarios, aunque con la introducción del aire propanado se presentó la necesidad de cambios en los equipos.

Cuadro 5.24. Utilización del aire propanado y el aire metanado

Fábrica	Proceso instalado
Cádiz	Aire propanado
Gijón	Aire peopropanado
Girona	Aire propanado
Oviedo	Aire propanado
Palma de Mallorca	Aire propanado
Reus	Aire propanado y aire metanado
Sant Feliu de Guíxols	Aire metanado
Santander	Aire propanado
El Vendrell	Aire propanado
Vic	Aire propanado y aire metanado
Vilafranca del Penedès	Aire metanado
Zaragoza	Aire metanado

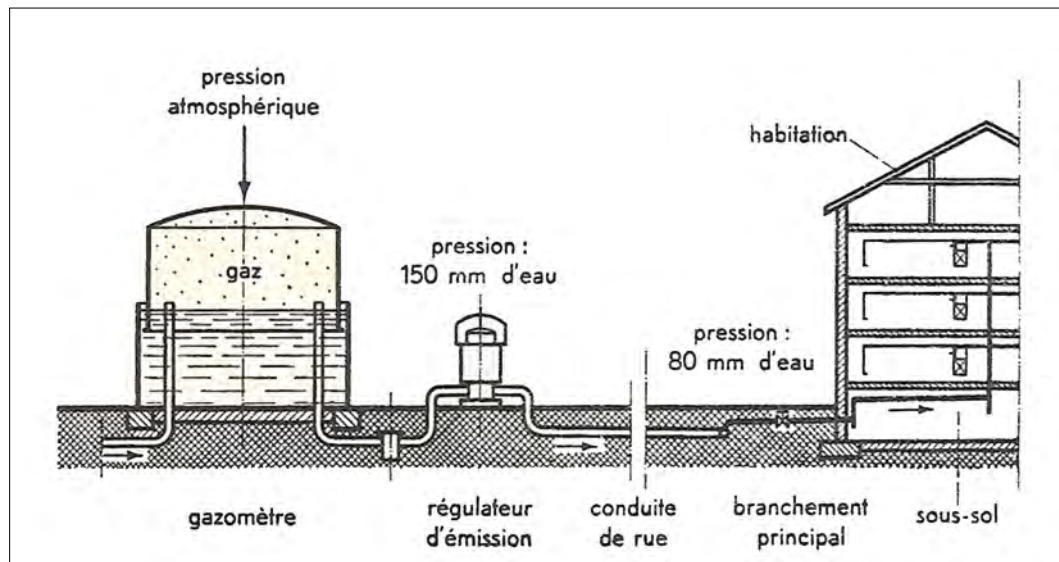


6. El sistema de distribución del gas manufacturado

Desde el gasómetro de la fábrica, el gas es conducido a los lugares de consumo. Esta conducción se realiza mediante tuberías las cuales lo llevan a través de las calles o plazas, hasta el mechero de una farola o el quemador de un hornillo. Además, para que el gas llegue a la presión adecuada se requiere que esta esté bien regulada y que las tuberías estén bien dimensionadas, y finalmente que la compañía suministradora conozca el consumo de gas mediante los contadores.

El esquema de la figura anterior muestra de manera simplificada la transmisión de gas desde

el gasómetro hasta el consumidor. Veremos en este capítulo los diversos sistemas de construir la canalización. Como se diferencia la parte exterior en contacto con la tierra, de la interior en contacto con el gas. La corrosión externa requiere protección. En el interior, el alquitrán y la naftalina que arrastra el gas se condensan en las partes más frías protegiéndolas. Sin embargo, hay que vigilar que no se formen obstrucciones que impidan el paso del gas, por ello se suele dar a las tuberías una cierta inclinación y se coloca de vez en cuando algún sifón en los puntos más bajos para la recogida de estos subproductos.

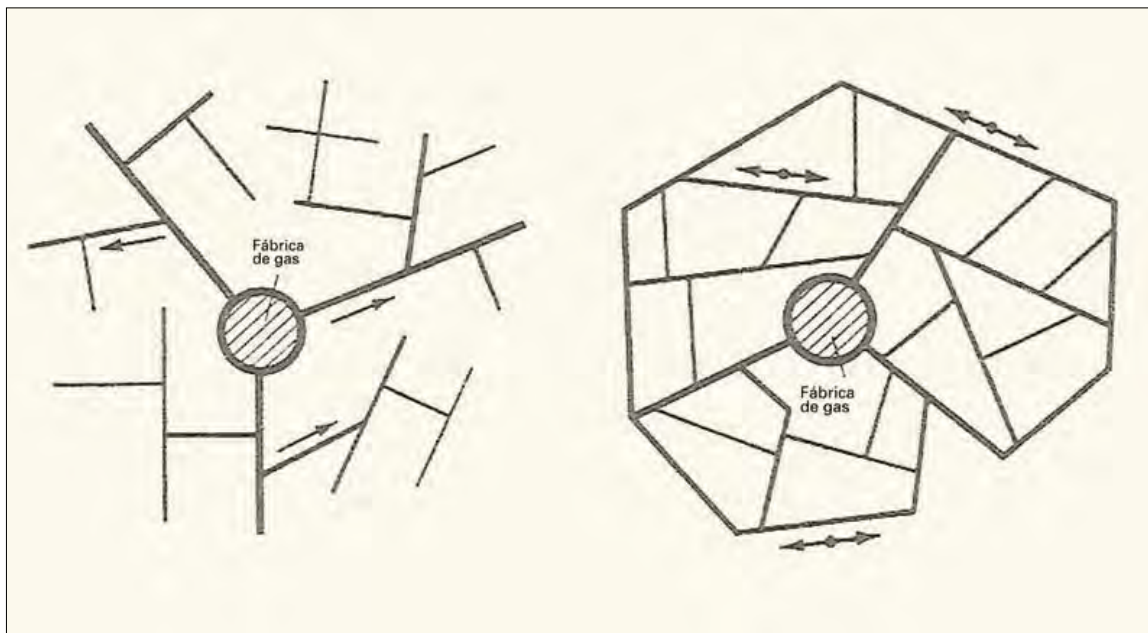


Esquema de distribución del gas desde la fábrica hasta el lugar de consumo (Bosko, 1957: 210).

6.1. Las redes de distribución: ramificadas y malladas

El conjunto de canalizaciones utilizadas para el transporte de gas se suelen conocer bajo la denominación de redes de distribución. Hay dos sistemas de redes: las ramificadas y las malladas. Las primeras se caracterizan por la existencia de una tubería principal de la cual parten otras tuberías secundarias que a su vez se subdividen en otras. Al final de las últimas ramas encontraremos conectados los aparatos que utilizan el gas. En la época de iluminación pública por gas, al final se encontraban los

mecheros de los faroles. Cuando el uso del gas se incorporó en las viviendas, otros ramales se introdujeron en los edificios para llegar a las cocinas de gas, los calentadores y también los mecheros del tipo Auer de que pudieran disponer para la iluminación interior. El incremento del uso del gas y el cambio en las tecnologías fue modificando la tipología de los aparatos utilizados, como se verá en el capítulo siguiente, pero en lo que se refiere a la distribución del gas manufacturado, el sistema de red utilizado no sufrió cambios significativos, aumentando de tamaño con redes a mayor presión, pero siempre con la misma estructura radial o mallada.



Red ramificada y red mallada (Bosko, 1957:209)

En las redes ramificadas el gas circula siempre en el mismo sentido, de la tubería principal a las secundarias. En las redes malladas, en cambio, la tubería principal y las secundarias están entrelazadas entre sí formando un circuito cerrado de manera que el gas no tiene un solo sentido sino que puede circular en dos sentidos. En el diseño de una red mallada se establece un anillo que englobe el perímetro de emisión mediante una tubería principal y se teje una red de tubos secundarios interconectados entre sí. En las grandes ciudades, o en los lugares en los que se prevé que haya desarrollos posteriores, se suele preferir el sistema de red mallada ya que en caso de necesidad, el gas de una tubería suplir la falta de gas en la otra (Bosko, 1957: 208-210).

Calcular una red de tuberías de gas quiere decir establecer la relación entre tres parámetros: la presión del gas, la cantidad de gas consumida y las dimensiones del tubo. La presión del gas al inicio de la red es la misma que ejerce la campana del gasómetro sobre el gas en el contenido y es gracias a esta presión que el gas circula por las tuberías. Esta presión se puede medir dividiendo el peso de la campana por su sección. Pero habitualmente se suele expresar en mm columna de agua de un manómetro.

Las premisas para calcular una canalización serían que el gas debería circular en las tuberías con una presión lo más uniforme posible respecto de la presión que ejerce el gasómetro. Es decir, que las pérdidas de presión al circular el gas fuesen las mínimas.

El gas, al circular por el tubo, debido al rozamiento, irá perdiendo presión o pérdida de carga, esta pérdida es independiente de la presión inicial del gas, pero es proporcional a la superficie del tubo y a la densidad del gas y aumenta con el cuadrado de su velocidad.

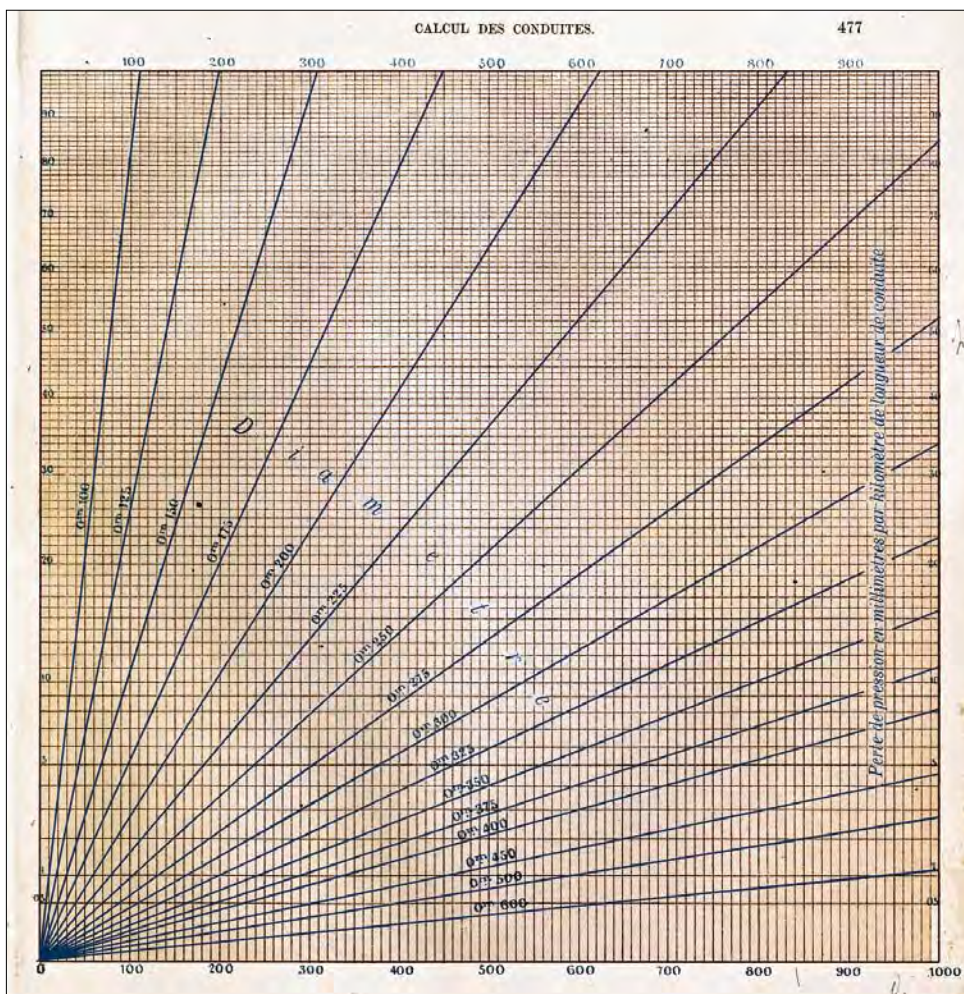
En consecuencia, si llamamos d al diámetro de la tubería en cm, l a la longitud de la tubería en m y Q al caudal de gas que circula en m^3/h , la pérdida de carga o de presión (h), en milímetros de columna de agua (mmca) debida al rozamiento se puede expresar por la fórmula siguiente (Shilling, 1879: 473):

$$h = 0,84 \frac{l \cdot Q^2}{d^5}$$

De esta fórmula se podía deducir el diámetro que debían tener los tubos, si se conocía el caudal, la longitud de la tubería y se prefijaba una pérdida de presión máxima.

A finales del siglo XIX, en París, la Compañía de Gas aconsejaba que la presión mínima en el mechero de salida no fuese inferior a 20 mm columna de agua (mmca). Por ello otro ingeniero de esta compañía, M. Anson, elaboró unas tablas que permitían fácilmente calcular el diámetro del tubo cuando se conocía el caudal si previamente se había fijado una pérdida de carga máxima (Marechal, 1894: 48).

Años antes, D. Monnier, director de la fábrica de gas de Marsella, basándose en esta fórmula, representó en unas gráficas la relación entre el caudal y las pérdidas de presión por cada km de longitud de tubería y para diferentes dimensiones, facilitando de esta manera los cálculos considerablemente. Este trabajo fue difundido a partir de 1876 en el *Aide-mémoire* que publicaba J. Baudry en París.



Gráfica de Monnier para tuberías de entre 100 y 600 mm de diámetro. En ordenadas, la pérdida de presión para una unidad de 1.000 metros de tubería (en mmca). En abscisas, el caudal de gas en m³/hora (Schilling, 1879: 477).

Por ejemplo, si se necesitaba suministrar un caudal de 840 m³/h a 1.350 metros de distancia y con una disminución de 25 mmca, se consideraba que para 1.000 metros la disminución sería de 18,5 mmca. En la tabla, tomando 18,5 en ordenadas y 840 en abscisas, aparecía un diámetro de entre 0,300 y 0,325 mm,

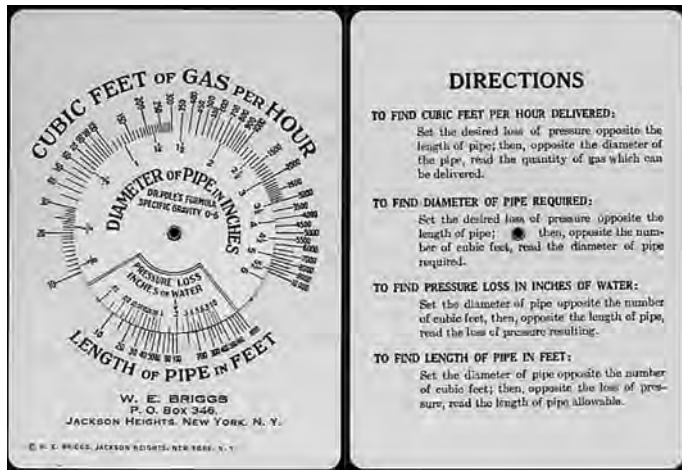
quedando este último como establecido.

Precisamente la expresión siguiente surge del análisis de equilibrio de fuerzas y una de las primeras expresiones para el cálculo de tuberías de gas fue propuesta por el Dr. Pole en Estados Unidos.

6. El sistema de distribución del gas manufacturado

$$Q = K \cdot \frac{\sqrt{d^5 \cdot h}}{I_p}$$

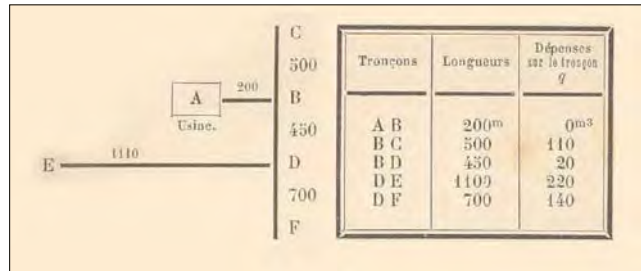
en el que K era un coeficiente empírico en función del tipo de tubería, pero igual para todo tipo de diámetros y p el peso específico del gas con respecto del aire (American Gas Assoc. 1965: 9/71).



Calculadora de flujo de gas de W.E. Briggs
(www.natgasedu.com).

En el mercado anglosajón, W.E. Briggs construyó en 1851 una calculadora gráfica basándose en la expresión de Pole. Esta calculadora, a pesar de que el origen del método era de mediados del siglo XIX, se utilizó hasta la década de 1960 para determinar el tamaño de los tubos de pequeño diámetro en la red de baja presión.

El cálculo de una red de tuberías requería disponer de un esquema previo en el que se conociese el caudal de cada tramo y su longitud como el que se ve en la imagen siguiente, donde se considera, en la tabla adjunta, la demanda de caudal de gas (q), con un total de 490 m³/h:



Esquema de una instalación (Borias, c.1890: 349).

En este ejemplo se consideró que en la tubería de emisión AB su pérdida de presión podía ser de 15 mmca y se efectuó el diseño para que esta, en el punto más alejado E, fuese inferior o igual a 35 mmca. Con estas condiciones previas se construyó la tabla siguiente, donde los valores de la columna q/Q y de la siguiente, se obtenían de otra tabla que no mostramos, también obtenida por Monnier, que a partir de la relación entre el caudal suministrado en ramales dentro del tramo (q) y el caudal circulante (Q), obtenía un coeficiente que multiplicaba al caudal Q para definir el caudal eficaz:

TRONÇONS	LON- GUEURS	VALEURS de q	VALEURS de Q	$\frac{q}{Q}$	$Q=Q\sqrt{\frac{a}{p^n n=10}}$	h_b
A B	200	0m ²	490	0	490	7mm,5
B C	500	110	140	1	65,120	6,75
B D	450	20	380	0,10	376,20	
D E	1100	220	220	1	119,24	
D F	700	140	140	1	82,88	
Réseau.	2060	490	0	0	0	0

Tabla de cálculo de pérdidas de carga
(Borias, c. 1890: 349)

Los valores aquí recogidos permitían determinar con la ayuda de las gráficas anteriores los diámetros convenientes a cada tramo que se recogieron en la tabla siguiente:

TRONÇONS	DIAMÈTRES A ADOPTER
A B	300mm
B C	150
B D	275
D E	175
D F	150

Diámetros de cada tramo
(Borias, c. 1890: 350)

Se consideraba que las variaciones de presión debidas a los cambios de sentido de las tuberías eran despreciables. Ya que si la velocidad del gas era moderada solo se perdía 1 mm de presión después de superarse 18 codos redondeados ó 10 en ángulo recto.

Una forma sencilla de determinar los diámetros de las conexiones de los abonados era mediante la tabla siguiente en la que se establecía el diámetro del tubo en función de los mecheros necesarios. Se consideraba entonces que un mechero consumía 140 litros/hora y que un infiernillo podía consumir como 2 ó 3 mecheros, un asador de 4 a 5 mecheros y un calentador de 10 a 15 mecheros (Borias, c.1890: 343-352).

DIAMÈTRES DES BRANCHEMENTS	
NOMBRE DE BECS comptés à 140 litres	DIAMÈTRE EN mm
1 à 5	20
6 - 10	25
11 - 20	30
21 - 30	35
31 - 40	40
41 - 60	45
61 - 80	50
81 - 100	55

Diámetros necesarios según el consumo
(Borias, c. 1890: 351)

Este sistema de gráficas y tablas, basadas en resultados experimentales, se utilizaron durante mucho tiempo, sin embargo en 1883 Osborne Reynolds caracterizó una expresión para el movimiento de los fluidos. Fue conocida como número de Reynolds y relacionaría la densidad, la viscosidad, la velocidad y el tipo de conducto por el que circulaba el fluido (Aide Memoire, 1990:187):

$$Re = \frac{\rho v_s D}{\mu}$$

Donde ρ era la densidad del fluido, v_s la velocidad del fluido, D el diámetro interior de la tubería y μ la viscosidad dinámica del fluido.

Con esta aportación, los cálculos de elección del diámetro de una tubería en función de la densidad del gas, de la variación de presión admisible y de la velocidad de circulación del gas, recogerían la fricción del gas circulante con las paredes de la tubería y se caracterizó

el régimen de conducción del gas mediante otra expresión que ya incorporó el nuevo coeficiente:

$$P_A - P_B = -\rho \cdot \lambda (Re, K) \frac{dL \cdot v_s^2}{2 \cdot D}$$

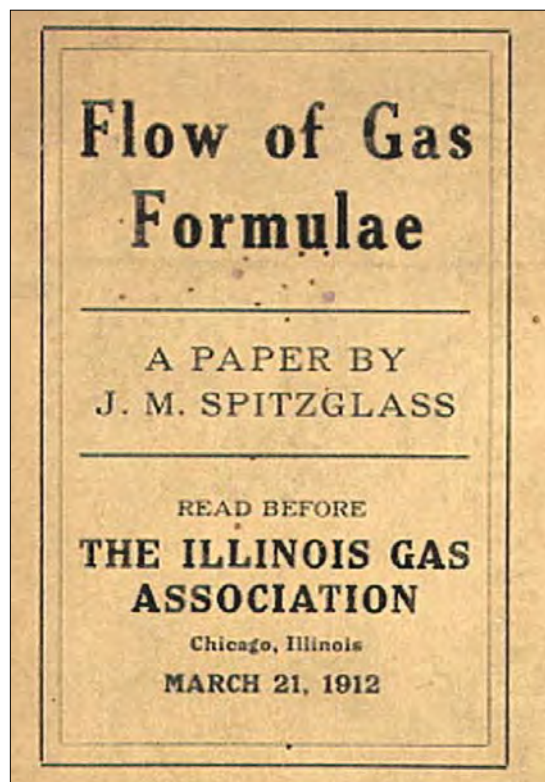
Donde ρ era la densidad del fluido, v_s la velocidad del fluido, D el diámetro interior de la tubería, dL el tramo de tubería a considerar y λ un coeficiente de fricción función del nº de Reynolds y de la rugosidad del tubo.

En general, para un conducto horizontal y a temperatura constante, como era la distribución de gas, el cálculo se basó en el balance de energía entre impulsión y rozamiento, con un análisis más preciso de los parámetros dimensionales que afectaban al mismo. En Estados Unidos, en 1912 J.M.Spitzglass elaboró un documento enunciando una expresión de cálculo que también ha sido muy utilizada en las redes de baja presión.

En los años treinta aparecieron otras expresiones vinculadas con la dinámica de fluidos que tuvieron aplicación en los cálculos de tuberías, aunque estaban más dirigidos a fluidos incompresibles que a los gases. En los años cincuenta M.Renouard apuntó unas nuevas expresiones que permitirían conocer la presión en un extremo, conocida la presión en el inicio, el gas a circular, el caudal del mismo y el tipo de tubería utilizada, donde apuntó que para los tubos de fundición y similares, el valor de λ referido anteriormente era $0,1013 + 1,59 \cdot Re^{-0,44}$. Pero para números de Reynolds menores de 10^6 se podía convertir en $\lambda = 0,172 \cdot Re^{-0,18}$ y condujo a la expresión general: (Renouard, 1952: 338).

$$P_A - P_B = f_{bp} \cdot d_c \cdot L_c \frac{Q^{1,82}}{D^{4,82}}$$

Donde d_c era la densidad corregida del gas, L_c la longitud de un tramo recto de tubería en metros, Q el caudal en m^3/h , D el diámetro interior del tubo en mm y f_{bp} un coeficiente adimensional. Ecuación válida para instalaciones de gas a baja presión, donde se trabaja con una presión muy poco superior a la atmosférica (unas decenas de milibares).



Portada del documento elaborado por J.M.Spitzglass en 1912 (www.natgasedu.com).

Sin embargo para presiones mayores, debe tenerse en cuenta que el fluido se comprime por efecto de las mismas, por lo que el caudal se incrementa en función de la relación de presiones, por ello para presiones medias, superiores a 0,1 bar y hasta 5 bar, la fórmula de Renouard se convirtió en (Mata, 1977:1):

$$P_A^2 - P_B^2 = f_{ap} \cdot d_c \cdot L_c \frac{Q^{1,82}}{D^{4,82}}$$

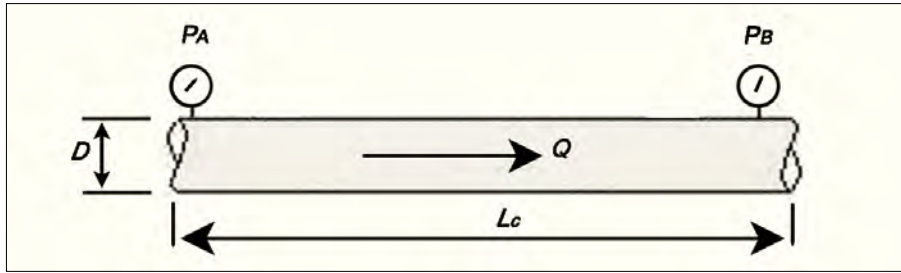
Siendo f_{ap} un coeficiente adimensional.

Weymouth este coeficiente era independiente del número de Reynolds (Re) y solo dependía del diámetro mediante la expresión: (Vincent-Genod,1984:23)

$$\lambda = 31,9 \cdot 10^{-3} \cdot D^{(-1/3)}$$

(D = diámetro en pulgadas)

Años después, en la década de los años 1940, apareció una variante de esta expresión, conocida como ecuación de Panhandle y en 1956 otra variante de esta, conocida entonces



La velocidad del gas Q depende principalmente de los parámetros físicos de la tubería L_c y D , y de la presión P_A .

Sin embargo para el cálculo de tuberías para altas presiones, la primera fórmula que se introdujo fue en 1912, a partir de la ecuación fundamental para el flujo compresible. T.R.Weymouth desarrolló una expresión para simular el flujo de gases compresibles en las grandes líneas de transporte de gas natural existentes en los Estados Unidos:

$$P_A^2 - P_B^2 = f_{wt} \cdot d_c \cdot \lambda \cdot L_c \frac{Q^2}{D^5}$$

Siendo f_{wt} un coeficiente adimensional, y λ el coeficiente de fricción. Para

como Panhandle B. Ambas tomaban el coeficiente de fricción en función del número de Reynolds (Re).

$$\lambda = 0,01467 / E^{1,951} \cdot Re^{0,039}$$

Siendo E un coeficiente que es función del tipo de material utilizado (Vincent-Genod,1984:24).

En los cálculos de redes tanto las radiales como las malladas se utilizan las expresiones más adecuadas según el tipo de red de que se trate, ya sea baja presión o media y alta presión.

6.2. Las tuberías

Para conducir el gas de un punto a otro de la red de distribución se utilizaron tubos de fundición, de chapa de hierro alquitranada, de hormigón armado, de fibrocemento y de chapa de acero y también, en menor medida, de plomo. Los primeros utilizados fueron los de fundición de hierro, también llamada fundición gris.

La fundición de los tubos se realizaba en los talleres de fundición y consistía en la confección de un modelo en yeso, arena o arcilla sobre el que se vertía el metal fundido, habitualmente hierro, para que adquiriese la forma del molde. Finalmente se limpiaban las piezas coladas. En un principio las fundiciones de tuberías se hicieron horizontal, inclinada o verticalmente, pero al final, se optó por la fundición vertical ya que en las otras posiciones la materia fluida estropeaba el alma obteniéndose unos tubos con menor espesor encima que debajo. Además las burbujas y las escorias subían hacia arriba y formaban grietas que debilitaban el tubo. En cambio, si se realizaba verticalmente, se obtenía una fundición homogénea, sin variaciones de espesor, exenta de grietas y porosidades y susceptible de ser trabajada con lima.

Inicialmente, debido a que las tuberías se pagaban a peso, los fabricantes tuvieron mucho interés en producir tubos de espesores mayores que los necesarios para soportar la presión a que habían de ser sometidos. Pero posteriormente, gracias a que en los pliegos de condiciones de los proyectos se introdujo la cláusula de

pago por metro lineal, los fabricantes franceses como Boignes, Rambourg y Cia de Montluçon produjeron unos tubos más delgados y de una fundición cuidada que les permitió ganar cuotas de mercado a los fabricantes ingleses (García, 1895: 158).

En Alemania hacia 1875 se utilizaban casi exclusivamente este tipo de tubos que se probaban en la misma fundición antes de ser distribuidos para su instalación. La prueba consistía en llenarlos de agua a una presión de 6 atmósferas y golpear sus paredes con un martillo para buscar si habían quedado atrapadas algunas burbujas de aire. También se realizaba una segunda prueba de estanqueidad consistente en tapar los extremos del tubo y sumergirlo en un recipiente de agua. A continuación se le introducía aire atmosférico comprimido mediante una bomba hasta que la presión alcanzaba un nivel preestablecido indicado por un manómetro (Schilling, 1879: 88).

Los tubos de chapa alquitranada se fabricaron mediante una laminadora de tres cilindros que al tiempo que estiraba la plancha la curvaba. Después esta plancha se remachaba longitudinalmente y se soldaba con estaño. Posteriormente se decapaba en un baño de ácido para eliminar el óxido y se recubría de una fina capa de plomo. Se conocían con el nombre de tubos Chameroy y se comercializaban en tramos de 4 m que estaban constituidos por dos tubos de 2 m aproximadamente cada uno unidos longitudinalmente por remache y soldadura. Si el diámetro era superior a 40 cm, el tramo podía estar formado incluso por tres elementos (Barbe, 1910: 12). La Compagnie Parisienne de Gaz los adoptó en exclusiva desde 1840 para realizar la distri-

bución de gas, en diámetros desde 4 cm a 1 m porque eran un 30% más económicos que los de fundición y porque a igual diámetro comportaban menores pérdidas de carga, se oxidaban poco, eran elásticos y muy estancos (Marechal, 1894: 51). En Inglaterra en cambio se continuó con los tubos de fundición gris probablemente porque, en ese país les resultaba económicamente rentable su fabricación al disponer de combustible y hierro a buen precio y poseer muchas industrias de fundición (García, 1895: 188).

Los tubos de fundición y los Chameroy fueron los más utilizados, sin embargo, en el alumbrado público por gas se utilizaron también los tubos de plomo, estañado interior y exteriormente y sin estañar, exclusivamente para diámetros pequeños en instalaciones empotradas en la pared destinadas a suministrar el gas a los faroles de repisa (García, 1895: 90).

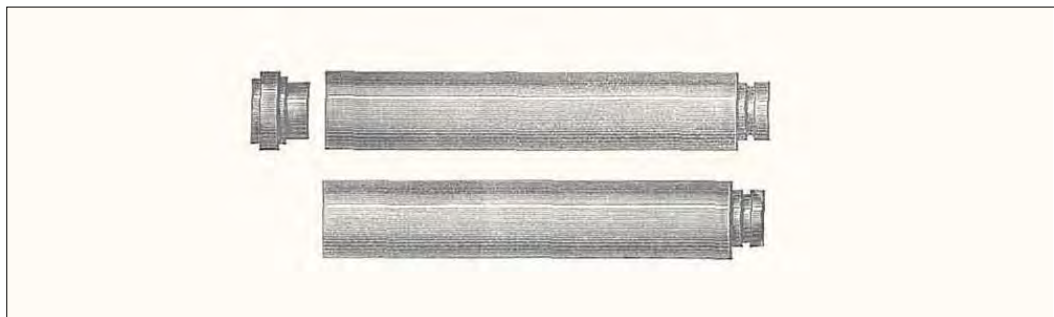
Otro de los tubos utilizados fue el fabricado en Vilanova i la Geltrú por la fábrica que inició Manuel Tomás en 1868. Se trataba de tubos de hierro dulce galvanizado, revestidos con betún impermeable. Los tubos Tomás –como se les

conocían- eran del tipo Chameroy y fueron muy utilizados en distribuciones de gas de las fábricas de Cataluña. Se usaron ya en el siglo XIX por su capacidad funcional de adaptarse a diferentes situaciones, eran robustos y podían resistir una presión, elevada, aunque se usaron en la red de baja presión. ya que tenían diferentes formas y las uniones eran roscadas en el mismo tubo, sin accesorios.

Posteriormente dejaron de utilizar plancha galvanizada y se revistieron en su interior con un baño de plomo y antimonio para poder soportar mejor la corrosión del gas ciudad húmedo y sus componentes. Asimismo se desestimó la unión roscada y se pasó a una unión macho-hembra que necesitaba la colocación de una estopa y su sellado con un baño de antimonio. El diámetro máximo utilizado en estos tubos era de 400 mm.

En los años 1960 se incorporó un encintado de PVC en lugar de la capa de asfalto de recubrimiento exterior. Se utilizaron hasta la década de 1970.

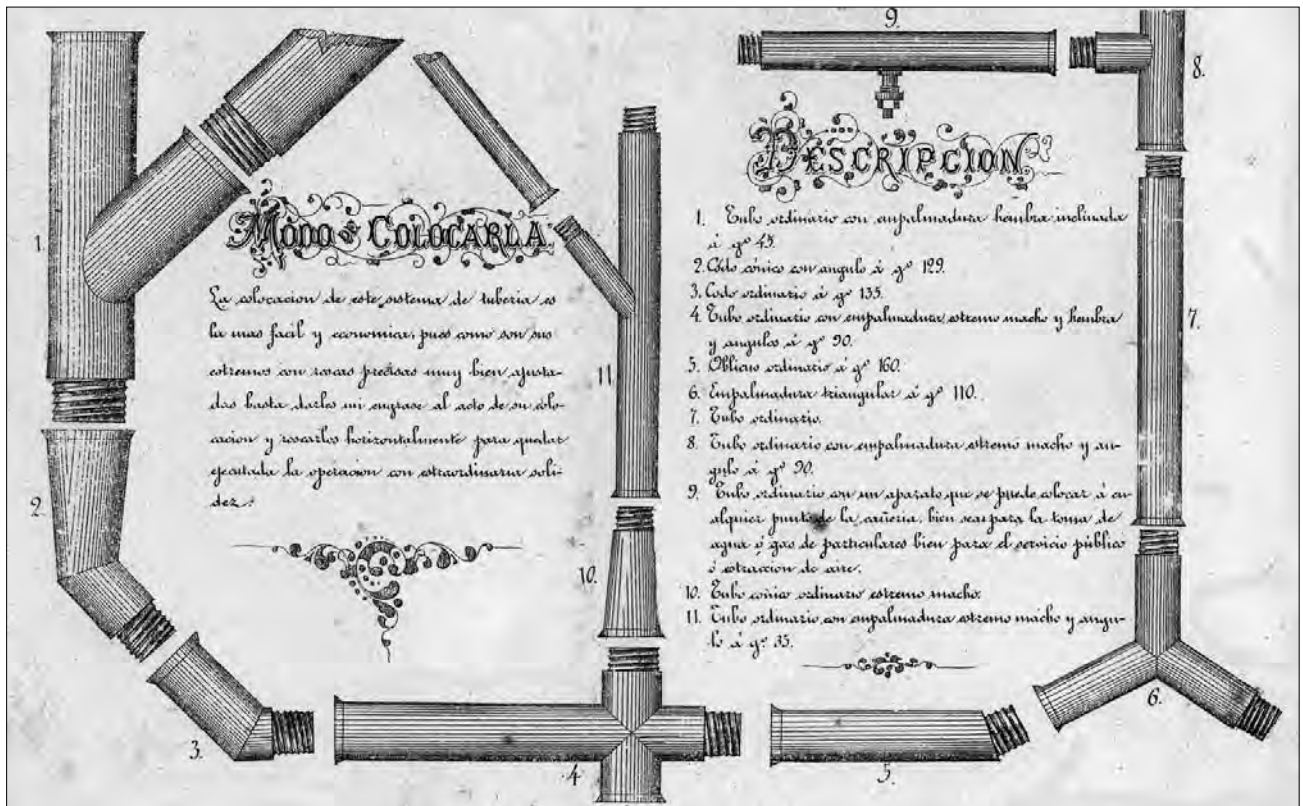
Los tubos de plomo se fabricaron desde 1825 mediante la laminación de plancha de plomo que se soldaba longitudinalmente.



Tubo Chameroy (Schilling, 1879: 503).

La técnica se fue perfeccionando con la fabricación de prensas mejores. Pero los tubos no eran muy apreciados, ya que si se dejaban a la intemperie se oxidaban y por ello tenían una duración bastante limitada.

los mecheros, pero en Inglaterra, en cambio, fueron proscritos por su poca dureza y su flexibilidad (García, 1895: 137). En 1894, Aimé Bonna (1855-1930), que trabajaba como ingeniero del Ayuntamiento de París,



Disposición de los tubos Tomás fabricados en el siglo XIX (O.Galceràn).

Este defecto se solventó gracias a la idea de recubrirlos de una fina capa de estaño. En España se utilizaron bastante en la canalización del gas desde la tubería general hasta

patentó un tubo de hormigón armado que aplicó principalmente en las conducciones de aguas residuales. Bonna creó la empresa Société de Tuyaux Bonna que explotó

hasta 1924 en que al jubilarse la vendió a la Compagnie Générale des Eaux. Después de jubilado, aún se dedicó a aplicar el hormigón para construir iglesias como la de Hirson en la Picardie francesa que fue la primera erigida con este tipo de material.



Aime Bonna

Los tubos de hormigón también se utilizaron unos años más tarde en algunas conducciones de gas para diámetros superiores a 500 mm y se construyeron de hormigón armado o pretensado y con o sin alma de chapa.

Se comercializaron cuatro tipos diferentes de tubos de hormigón: 1) Los tubos con alma de chapa de acero que se construían de manera que esta estaba situada más cerca de la parte

interior, mientras que la armadura de malla se colocaba hacia el exterior; 2) Los tubos de hormigón sin alma de chapa que llevaban dos armaduras transversales y en algunos casos una armadura elíptica transversal; 3) Los tubos de hormigón pretensado con alma de acero que tenían un núcleo de hormigón con un alma de chapa en cuyo alrededor se enrollaba helicoidalmente el alambre del pretensado que era de acero de alta resistencia; 4) Y finalmente, los tubos de hormigón pretensado sin alma de acero que constaban de un núcleo de hormigón con una armadura longitudinal y un alambre que se enrollaba helicoidalmente alrededor del núcleo sometido a tensión y recubierto de una capa de hormigón. En España fueron comercializados por la empresa Materiales y Tubos Bonna S.A. y eran principalmente de alma de acero con un doble revestimiento de hormigón armado (Martín, 1994: 96-97).

En 1922, un ingeniero italiano llamado Maza inventó el tubo de fibrocemento y lo aplicó a la conducción de gas en Livorno. El fibrocemento o cemento amianto es un compuesto de una mezcla íntima y homogénea de cemento lento, agua y fibras de amianto que en Italia se patentó con el nombre de Eternit y en España con el de Uralita. Sin embargo, su primer uso fueron las conducciones de los bajantes de aguas de los edificios y poco a poco fueron imponiéndose, inicialmente para diámetros inferiores a 300 mm, en las de gas dada las pocas pérdidas por difusión que presentaban, su poco peso, su facilidad de colocación y su duración casi ilimitada. Solo tenían un inconveniente, su fragilidad al choque y su elasticidad reducida. Por eso al instalarlos se tenía que cuidar mucho que el fondo de la zanja estuviese nivelado y limpio de piedras. Además había que prepararle una cama de arena de 5 cm de espesor y recubrir el tubo con una capa

de al menos 30 centímetros por encima de él también de arena (Association, 1968: 241-245).

En España, la empresa Manufacturas Roviralta S.A. de Cerdanyola del Vallés comenzó a realizar pruebas con los tubos de Uralita en el Laboratorio General de Ensayos y Acondicionamientos de la Diputación de Barcelona en 1930, obteniéndose unos resultados plenamente satisfactorios. Por esos años se aplicaron en las instalaciones de gas en Alicante, Almería, la Coruña, Sevilla, Mataró, Arenys de Mar, Igualada, Sitges, Cádiz, San Fernando y Palma de Mallorca entre otros (Los tubos, 1931: 2).

Se fabricaron también tubos de chapa de acero que se utilizaban si se requería unas condiciones de seguridad frente a las averías o si hacía falta un tubo más resistente. Su aplicación era conveniente si se necesitaba una tubería ligera y resistente. Dada su escasa utilización solo se fabricaban por pedido previo y se construían de chapa galvanizada.

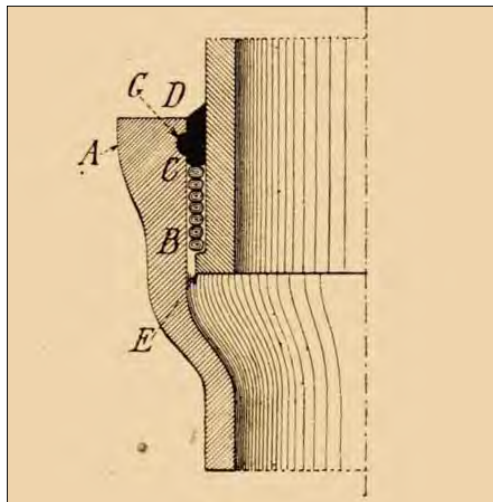
Cuadro 6.1. Materiales utilizados en las canalizaciones de gas antes de 1930

Fundición gris
Plancha de hierro dulce asfaltada
Hormigón armado

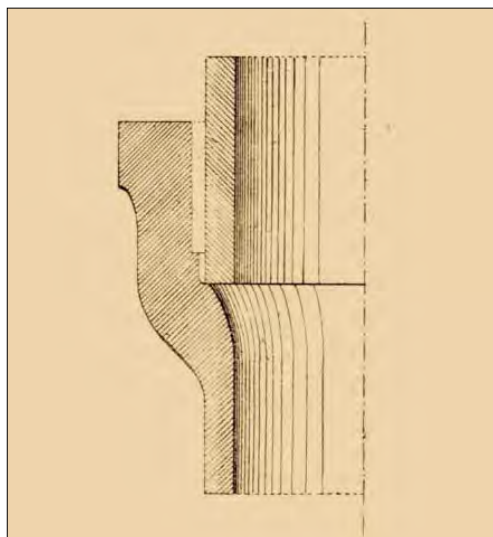
6.2.1. Las uniones de tuberías

Un elemento muy importante en las instalaciones de gas era las uniones de los diferentes tramos de tubería ya que si no se realizaban correctamente se podían producir fugas. La gran cantidad de perfeccionamientos y los diversos modelos de juntas muestran que había una necesidad imperiosa de evitar las pérdidas

de gas que tenían lugar precisamente en los puntos en que se unían los diferentes tramos de tubería.



Unión de enchufe y cordón de plomo (arriba) y unión de enchufe sin cordón (abajo) (Barbe, 1910: 3-4).



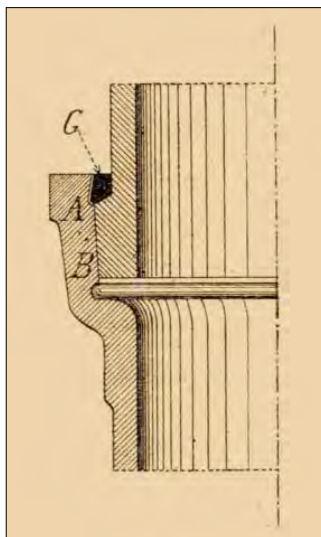
Las tuberías de fundición se solían unir con juntas de plomo fundido o con juntas de caucho. Había principalmente tres tipos de juntas de plomo fundido: las de enchufe y cordón, conocidas también por unión normal francesa, las de enchufe sin cordón o de unión normal alemana y las de enchufe rígido o normal inglesa.

Las uniones de enchufe y cordón se realizaban encajando un extremo hembra A del tubo con el extremo macho del otro. Normalmente después de realizado el enchufe, entre la superficie interior del extremo hembra y la exterior del extremo macho, quedaba un espacio vacío que debía llenarse. Habitualmente, un tramo se llenaba con trenza torcida de cáñamo alquitranada BC y el resto con plomo fundido CD. El extremo hembra A estaba moldeado con un grueso mayor que el resto del tubo para resistir los golpes de maza que se solían dar sobre el plomo ya frío para conseguir

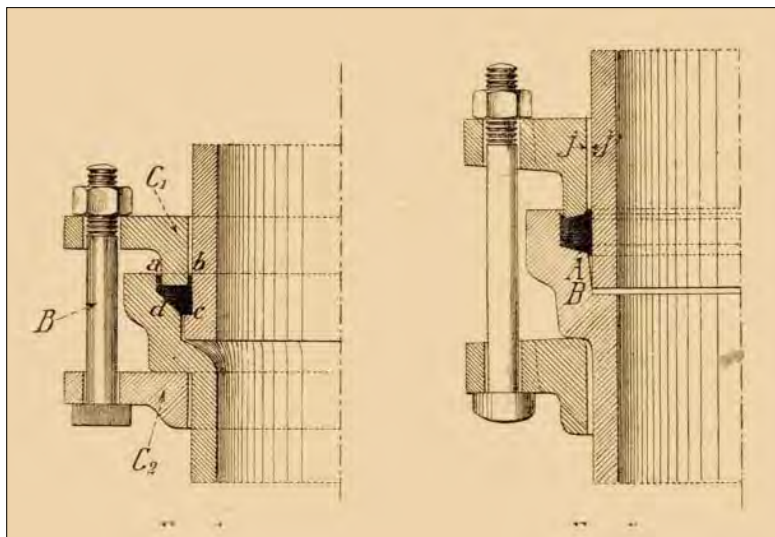
su perfecta adherencia. Normalmente en el extremo hembra había una garganta G que tenía como objetivo aumentar la sujeción del plomo. Aquello que caracterizaba la unión normal francesa era que en el extremo macho había una pestaña E que impedía a la cuerda alquitranada caerse dentro del tubo. Gracias a esto no hacía falta que el extremo macho tocara el fondo del enchufe pudiendo dejarse así un cierto margen para la dilatación.

Las uniones de enchufe sin cordón, conocidas como uniones normales alemanas, eran similares a las anteriores pero el extremo macho no tenía la pestaña E y el fondo del enchufe hembra presentaba una superficie plana que servía para sujetar el extremo macho.

El tercer tipo de juntas de plomo para tubos de fundición era la unión normal inglesa, también conocida como de enchufe rígido. En ella los dos tubos se unían por contacto de dos superficies



Enchufe rígido (Barbe, 1910: 6).



Junta Lavril y junta rígida (Barbe, 1910: 7).

truncocónicas AB de los extremos hembra y macho que encajaban cuidadosamente. En el momento de realizar la unión era conveniente limpiar las dos superficies e impregnarlas de una mezcla de minio y cera. Para obtener la estanqueidad solo había que realizar la unión y ayudarla con algunos golpes de mazo. El inconveniente del enchufe rígido era que tenía poca flexibilidad y por ello los extremos de los tubos se solían romper con facilidad al realizar la unión o perdían la estanqueidad al menor movimiento. Este sistema de unión se mejoró con la incorporación en el extremo del enchufe de un anillo G de plomo fundido.

Sin embargo, estas uniones de plomo fundido se fueron eliminando en las instalaciones más modernas debido a que se ocasionaban fugas importantes y por ello se buscaron otras uniones más seguras.

Los tubos de fundición podían unirse también mediante juntas de caucho. Los principales sistemas de unión de este tipo eran la Lavril, la rígida, la Gibault y la Somzée. En todas ellas tenía que utilizarse goma de caucho natural de buena calidad, como el fluido lácteo llamado látex que se obtenía en Gabón a partir de diversas especies de plantas tropicales.

La junta Lavril se caracterizaba porque quedaba un espacio vacío *abcd* entre el extremo hembra del enchufe y la superficie exterior del extremo macho que se destinaba a alojar una arandela de caucho de sección cuadrada. Esta arandela era comprimida por acción de las contrabridas C_1 de cierre y C_2 de cabeza. Esta última encajaba en el saliente posterior del enchufe. Estas dos contrabridas se unían mediante un perno B cuyo extremo iba roscado con una tuerca.

La junta rígida también comportaba el uso de bridas y contrabridas y de un anillo de caucho,

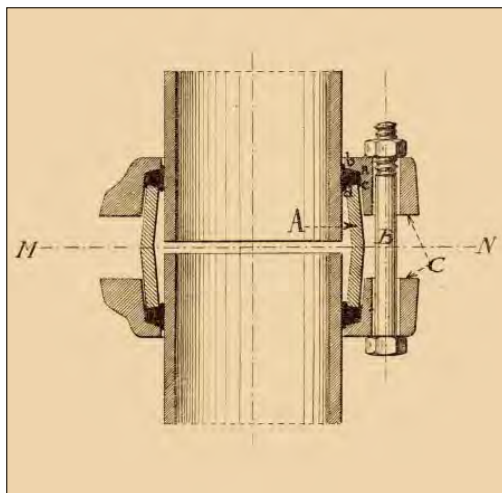
pero se diferenciaba de la junta Lavril en que el extremo macho y el hembra se enchufaban mediante una superficie truncocónica AB. La finalidad de esta unión era conseguir que la compresión de los extremos sobre la arandela de caucho fuese más regular y evitar así los fallos de esta al reducir el juego entre la contrabrida y la superficie jj, del extremo macho. Además se conseguía prácticamente eliminar el contacto del caucho con el gas (Barbe, 1910: 3-7).

El tubo Lavril que parecía tener ventajas prácticas presentó un inconveniente debido a que las longitudes de los tramos fabricados eran reducidas (1,25 hasta diámetros de 50 mm, 1,50 para diámetros de 60 a 90 mm y 2m para los diámetros superiores) cosa que multiplicaba el número de uniones y en consecuencia el riesgo de fuga. Esta situación podía no solo producir pérdidas económicas sino también accidentes. Además, las uniones Lavril resultaban caras tanto por el caucho como por las bridas y pernos aunque resultasen más flexibles para realizar tramos sinuosos sin codos ni piezas especiales (Mineur: 1922:14).

Una de las variantes de la junta Lavril fue la ideada por Gibault que se caracterizaba por realizar la unión de dos tubos lisos mediante un manguito ligeramente cónico que se fijaba con dos bridas similares a las del tipo Lavril que comprimían dos anillos de caucho de sección cuadrada. La ventaja de esta unión consistía en que era independiente del tubo, ya que este no requería disponer de ningún elemento adicional para unirlo a otro. Se necesitaba, sin embargo, un manguito cuya superficie estuviese formada por dos troncos de cono con base común y dos contrabridas C que al acercarse por la acción del perno B comprimiesen dos arandelas de caucho contra las extremidades del manguito. Estos

manguitos tenían la ventaja de facilitar el desmontaje de los tramos para su limpieza. Se solían utilizar en las tuberías de 50 a 150 mm de diámetro, pero para diámetros superiores resulta considerablemente difícil de ejecutar (Mineur: 1922:15).

El resultado de utilizar la junta Gibault era que el tubo permitía ciertas inflexiones sin demasiada dificultad y sin afectar la estanqueidad. Por el contrario no solucionaba el problema del precio por lo que tampoco se utilizó inicialmente demasiado.

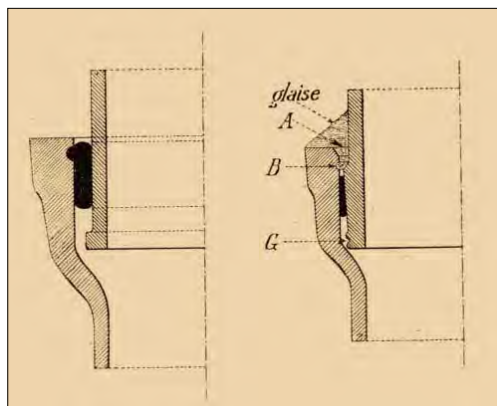


Junta Gibault (Barbe, 1910: 7).

Hacia 1920 fue de uso habitual en Francia la junta sistema Somzée o su variante, la junta Trifet. La primera consistía en comprimir una arandela de caucho entre el tronco del extremo macho y el enchufe hembra sin bridas ni tornillos. La arandela tenía sección redonda de diámetro doble de la holgura en la que se tenía que alojar. Se situaba en el momento de

enchufar los dos extremos, de manera que al penetrar el extremo macho en el enchufe hembra la arandela se arrastraba con él.

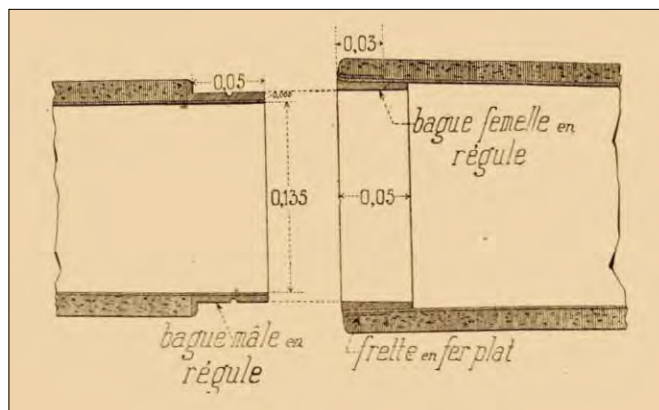
Esta forma de unión se podía aplicar a los tubos preparados para una unión de enchufe y cordón pero habitualmente se utilizaban con unos tubos especiales llamados tubos Somzée. Estos se caracterizaban por tener una mayor profundidad del enchufe para permitir a la arandela efectuar alguna revolución completa sobre sí mismo antes de ocupar la posición definitiva. Además la entrada A del extremo macho tenía la forma un poco acampanada para facilitar la penetración de la arandela, además acababa en forma algo troncocónica para que se produjese una compresión progresiva del caucho. Finalmente, el extremo macho llevaba una garganta G en la que se enganchaba la arandela en el momento del enchufe. También se podía utilizar la junta Somzée con tubos de enchufe sin cordón, los cuales al disponer el extremo hembra de la superficie plana impedían el contacto del caucho con el gas.



Junta Somzée mediante tubos de enchufe y cordón y mediante tubos Somzée (Barbe, 1910: 9).

6. El sistema de distribución del gas manufacturado

Los tubos Chameroy se unían por enchufe rígido. Para ello el extremo macho tenía un rebaje de sección semicircular que encajaba en un saliente semicircular del extremo hembra. La unión se realizaba simplemente por penetración como si se tratase de un pistón de un cilindro. Además, para dar resistencia al extremo hembra se solía reforzar con una abrazadera plana de hierro. En el rebaje del extremo macho se ponía en el momento de la unión un filamento de yute engrasado (Barbe, 1910: 9-12).

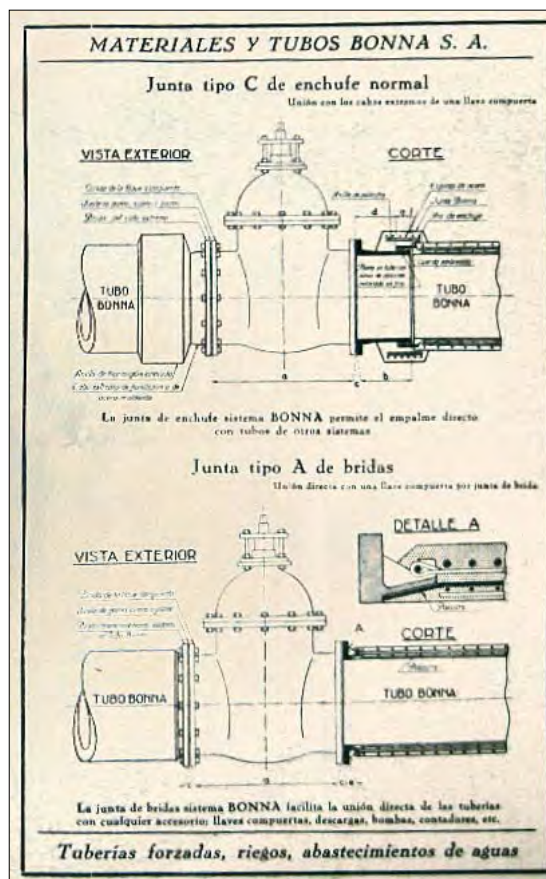


Unión de tubos Chameroy (Barbe, 1910: 12).

La unión de estos tubos se realizaba impregnando con grasa negra mediante una brocha el interior del extremo hembra y el exterior del extremo macho. Esta grasa se componía de dos tercios de grasa y un tercio de plumbagina. Después se fijaba uno de los extremos, preferentemente el hembra y se enchufaba el extremo macho previamente adornado del filamento de yute engrasado. Para realizar la unión se tenía que hacer una cierta presión por lo que se solía golpear un extremo con una maza de forma que fuese

el extremo macho el que avanzase sobre el hembra y no al contrario ya que había el riesgo de deterioro del extremo macho debido a los golpes de mazo.

En algunas ocasiones la unión de los tubos Chameroy era roscada y se cerraba con plomo para asegurar la estanqueidad. En otras ocasiones, después de realizada la unión, fuese esta rígida o roscada, se soldaba al final con un cordón de estaño y resina (Mineur: 1922: 12).



Detalle de las uniones de los tubos de hormigón del catálogo de Materiales y Tubos Bonna S.A.

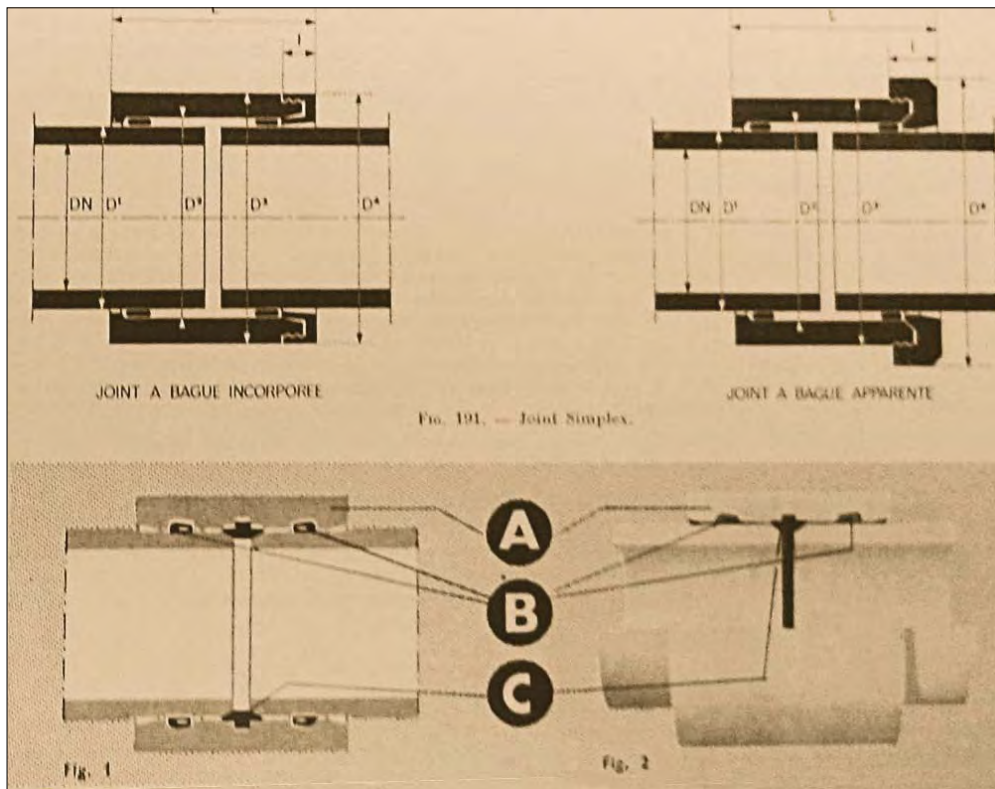


FIG. 191. — Joint Simplex.

Juntas Simplex y Univit (Association, 1968: 243).

Por razones de seguridad, los tubos de chapa, como los Chameroy, se solían instalar alejados de las redes de distribución y se recomendaban para diámetros grandes. Aunque en muchos casos resultaba más barato reemplazarlos por feeders de gas a alta presión, ya que estos presentaban una economía notable de primer establecimiento.

Los tubos de hormigón utilizaron uniones de enchufe normales o con bridas que se fabricaban según los planos del proyecto, mientras que en los tubos de fibrocemento se utilizaron principalmente las uniones

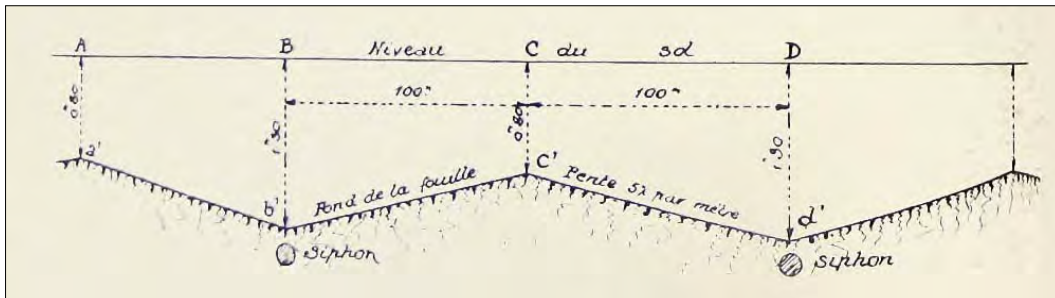
Gibault con bridas y pernos de fundición y arandelas de caucho. También se utilizaron las llamadas juntas Simplex que se fabricaban de fibrocemento o las Univit. Estas últimas se componían de un manguito A de fibrocemento con tres ranuras interiores que se llenaban con dos anillos de caucho B y un anillo de tope C con perfil de T también de caucho.

Los tubos de chapa de acero se solían unir con uniones Gibault o con bridas de fundición si estas eran requeridas, en cambio los tubos de plomo se unían con uniones de bridas o mediante una soldadura.

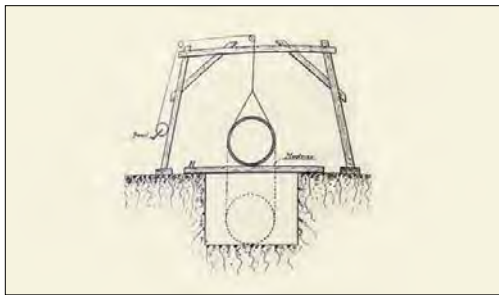
6.3. La colocación de los tubos

La instalación de los conductos se hacía siguiendo unas reglas básicas de buen funcionamiento que consistían en dejar siempre libre el tramo de obras y por ello se abría zanja por lo menos unos 50 metros por delante de obra de tal manera que la tubería pudiese ir soterrada como hemos dicho anteriormente entre metro y metro y medio bajo tierra. En cualquier caso nunca por encima de 60 cm, ya que entonces se vería afectada por los cambios bruscos de temperatura o podría ser dañada por el paso de vehículos. En tanto fuese posible se ponían los tramos de tubo, de manera que el eje de uno fuese prolon-

gación del otro, enfocados para realizar la unión machambrada. En los lugares de las uniones se colocaban los soportes de obra necesarios para que estas se pudiesen realizar sin dificultad, levantando si cabía el fondo de la zanja. Había que mantener cerradas las extremidades de los tubos para evitar que se introdujese tierra u otros materiales no deseados. Finalmente, antes de rellenar la zanja era conveniente verificar la parte realizada. Para un funcionamiento correcto se daba a la conducción de gas una pendiente de 7 u 8 mm por cada metro. En los puntos más bajos se aprovechaba para colocar un sifón de forma que su volumen fuese proporcional a la longitud y diámetro de las tuberías a las que suministraba (Borias: c.1890: 354).



Ejemplo de colocación de una tubería de gas (Mineur, 1922: 18).



Puente rodante para tuberías de gran diámetro (Mineur, 1922: 20).

La instalación de los tubos pequeños se solía hacer manualmente, pero para diámetros mayores de 600 mm a 1 m estos se suspendían en unos puentes rodantes provistos de un torno que se desplazaban a lo largo de la zanja.

Los tubos se depositaban encima de la zanja sobre unas maderas y después con ayuda del puente rodante se les hacía descender para poder ser unidos mientras se hallaban suspendidos a fin de poder ser manejados

sin dificultad. Si las uniones eran de plomo, Lavril o similares, hacía falta preparar un nicho N para cada enchufe para poder ejecutar la unión correctamente.



Nicho para unión de plomo (Mineur, 1922: 20).

Los tramos de tubería de longitud superior a 300 m se solían taponar por sus extremidades y se comprimía el aire de su interior hasta una presión de 50 mm de mercurio de manera que si la presión se mantenía durante media hora se consideraba que ya estaba en condiciones para ser terraplenada. Si por el contrario hubiese fugas, estas se detectaban porque el aire hacía un ligero silbido o incluso podía provocar grietas en los tubos. Otro sistema de detección de fugas era mediante agua jabonosa aplicada en las uniones con un pincel. La formación de burbujas indicaba la existencia de una fuga. A veces las tuberías se estropeaban con el transporte, ya que normalmente la fábrica las probaba antes de enviarlas a la empresa gasista. Después de realizada la verificación se aseguraban los tubos con cuñas y se terraplenaban con diversas capas dejando espacio para los sifones (Mineur: 1922: 18-20).

La finalidad del sifón era la recogida de los productos que condensaban en la tubería como vapor de agua, alquitrán o aguas amoniacales. Los sifones se componían de

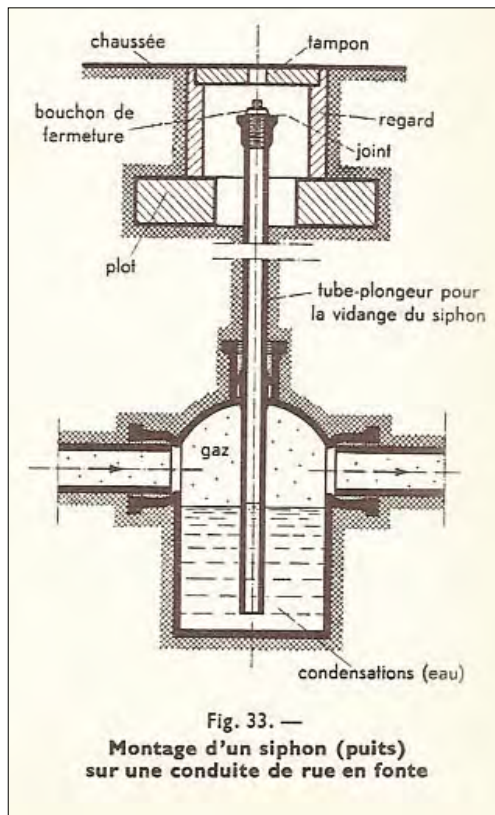
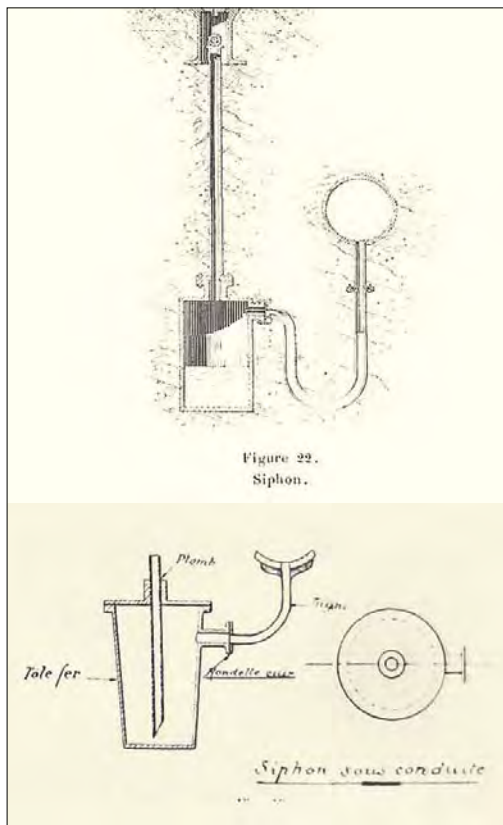


Fig. 33. —
Montage d'un siphon (puits)
sur une conduite de rue en fonte

Sifón (Bosko, 1957:207).

un recipiente cilíndrico de fundición de 10 a 25 litros de capacidad según las dimensiones de la red. Este recipiente estaba tapado por una superficie roscada de la que salía un tubo de hierro y que acababa en una mirilla de fundición de unos 20 cm de diámetro que se situaba a ras de tierra y se cubría con una tapa. Además tenía un tubo de plomo curvado en forma de U que por el otro extremo estaba unido a la parte inferior del tubo de gas (Marechal, 1894: 58-59).

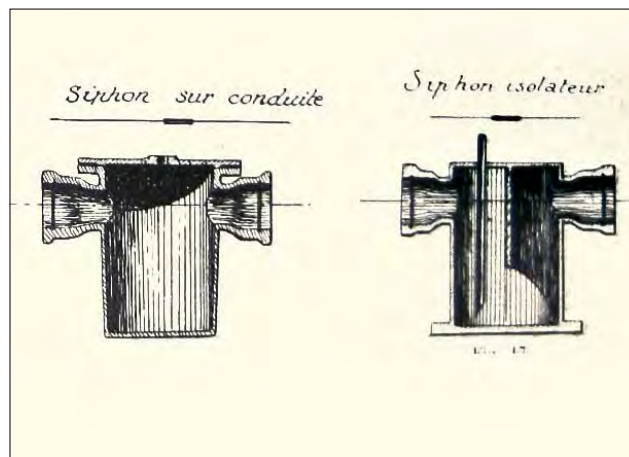
6. El sistema de distribución del gas manufacturado



Sifón (arriba) (Marechal, 1894: 58)
Sifón de debajo de conducto (abajo)
(Mineur, 1922: 23).

El vaciado se efectuaba con ayuda de una bomba aspirante conectada mediante un tubo al fondo del recipiente. Los sifones eran imprescindibles incluso en redes pequeñas. Se solían poner en las ramificaciones de las luminarias o en las de suministro a particulares y siempre que las ramificaciones descendiesen por debajo del desnivel de la red.

El modelo de sifón más utilizado fue el llamado “de debajo de conducto”, pero durante algún tiempo se utilizaron también los sifones “sobre conducto” en los que la entrada y salida del gas estaban alineadas con la tubería. Había un tercer sistema, los llamados sifones aisladores que permitían aislar las tuberías y facilitar el control y la reparación.

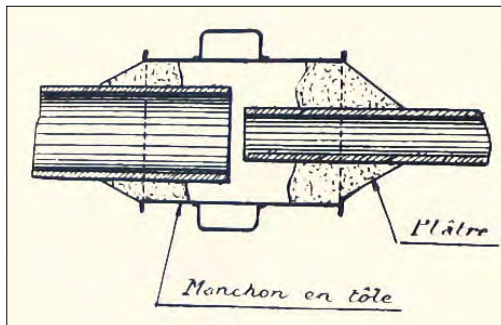


Sifones sobre conducto y aislador (Mineur, 1922: 23).

Después de hecha la instalación había que introducir el gas por un extremo, mientras se dejaba escapar el aire por el opuesto. Mientras se realizaba la purga había que alejar toda llama porque las mezclas que salían eran explosivas y muy peligrosas. Una canalización de gas se podía dar por buena si las fugas que se detectaban en el contador no superaban 12 litros cada 24 horas y metro cuadrado de superficie de tubo a una presión normal de 30 a 40 mm columna de agua (Mineur, 1922: 23-24).

6.3.1. Sustitución o prolongación de la tubería

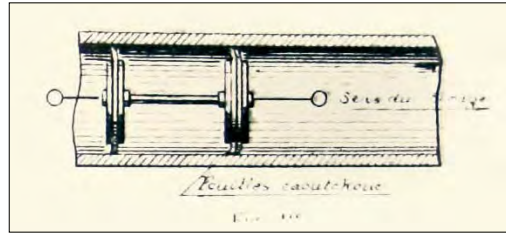
En algunas ocasiones había que sustituir una tubería por otra de diámetro mayor y para ello se abrían unas zanjas en la calle de 80 a 100 m y se preparaba todo el material para sacar la tubería antigua y reemplazarla por una nueva. La unión provisional entre los dos tramos de diferente sección se realizaba con unos manguitos de diámetro superior al tubo grande que se sellaban con yeso. A continuación, después de comprobar que no había fugas utilizando agua jabonosa, se terraplenaba la zanja.



Unión de dos tuberías de diámetro diferente
(Mineur, 1922: 24).

Cuando se trataba de prolongar una tubería que ya estaba en funcionamiento se añadían o reemplazaban los tramos manteniendo el suministro de gas, por ello se solía frenar el avance del gas mediante unos pistones formados por láminas de chapa y caucho, los cuales bloqueaban el paso del gas en el tramo donde se tenía que realizar la reparación.

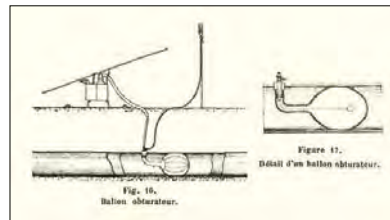
Sin embargo resultaba preferible, para conseguir una perfecta estanqueidad, utilizar el balón



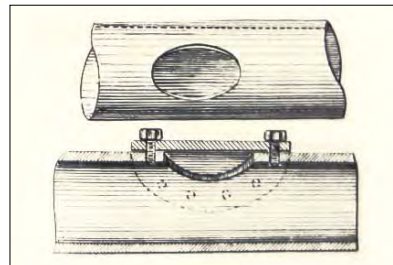
Pistones de bloqueo (Mineur, 1922: 25).

obturador que no era otra cosa que un globo de goma recauchutada que en pocos segundos permitía aislar completamente la tubería.

Así pues, si teníamos una tubería que queríamos aislar, se perforaba sobre su superficie un círculo pequeño de unos 2 cm² con un aparato especial de corte, el cual además de practicar el agujero, retiraba el trozo de chapa cortado y evitaba, así, su caída dentro de la tubería.



Balón obturador (Marechal, 1894: 53).



Agujero tapado con un obturador (Mineur, 1922: 25).

A continuación se introducía rápidamente el globo vaciado de aire por el orificio practicado y sin perder un instante se hinchaba con una bomba de aire o una mancha manual. El globo se llenaba de aire y se ajustaba herméticamente a las paredes del tubo. Se cerraba con ayuda de una llave de paso y se verificaba su estanqueidad con un manómetro. Como se ve en la figura, dentro del globo quedaba un eje acabado en una esfera que servía de gran ayuda para su introducción dentro de la tubería. En tubos de gran calibre no estaba tan garantizada la estanqueidad de los balones y por ello se solía dejar un operario controlando que se mantuviese inflado (Marechal, 1894: 53-54).

Para volver a poner la tubería en marcha solamente había que desinflar y retirar el globo y tapar el agujero con un disco de plomo que se soldaba. Después, se recubría con alquitrán toda la parte afectada. En los tubos de diámetro mayor de 200 mm, el agujero se hacía elíptico y la tapa u obturador, de chapa y fijada con tornillos. Para trabajos de larga duración se prefería obturar el tubo con una chapa engrasada unida al tubo mediante bridas (Mineur, 1922: 25-26).

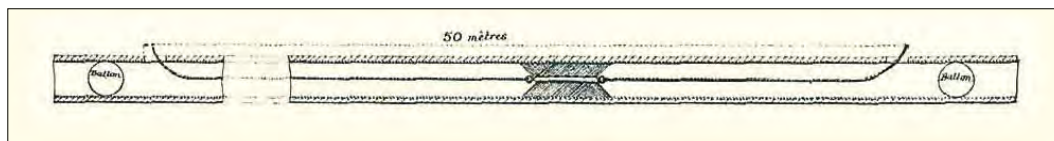
6.3.2. Mantenimiento de las tuberías, fugas y obstrucciones

Las tuberías de gas tenían que mantenerse en perfecto estado. Esta era una obligación de la Compañía del Gas, pero además era su interés principal ya que en caso contrario las fugas que se ocasionaban le representaban un incremento

considerable de las cargas de explotación. Por ello en algunas ciudades, cuando se efectuaba alguna nueva excavación para una nueva instalación o para reparar alguna fuga, se procedía a reemplazar las partes averiadas, si las hubiere, por una tubería nueva. El mantenimiento de la red consistía principalmente en dos actividades: la reparación de las fugas y el desprendimiento de las obstrucciones.

Las fugas solían deberse bien a uniones mal efectuadas o bien al desgaste de las tuberías. La evaluación de las fugas se efectuaba restando del caudal fabricado, el caudal consumido. Había que tener en cuenta que siempre se producían unas pérdidas que no se podían contabilizar. Unas eran las fugas debidas al gas quemado en la misma fábrica para la iluminación de los despachos y talleres, otras correspondían al gas quemado en las luminarias públicas y, finalmente, las relativas al gas consumido por los particulares que no se registraba en sus contadores, bien por causa de fraude o bien por el mal funcionamiento de estos aparatos.

Resultaba evidente que si estos tres elementos anteriores no se conocían, resultaba difícil evaluar la pérdida por fugas, aunque se puede afirmar que a ellos correspondía la mayor parte de gas no contabilizado. A pesar de todo, las compañías de gas no solían realizar una búsqueda sistemática de las fugas. Se consideraba que las múltiples obras que se realizaban en las vías públicas, para nuevas conexiones o para suprimir algunas ya existentes, eran suficientemente grande como para permitir la detección de una fuga.



Sistema para desatascar tuberías (Marechal, 1894: 76).

Otro de los problemas que presentaba el mantenimiento de las redes era la obstrucción de los conductos. Las tuberías podían obstruirse porque se depositase naftalina o bien por las aguas de condensación. También podía suceder que entrase agua de otros ramales húmedos. La presencia de naftalina en los tubos se detectaba porque la presión del gas descendía de manera anormal. En este caso se procedía a limpiar la tubería de la manera siguiente: Se practicaban dos aberturas de la medida de un puño a banda y banda de la zona donde había la obstrucción. Con unos balones obturadores se frenaba la llegada del gas, de manera que el tramo obturado quedaba libre de gas. Entonces se introducían unas barras de hierro unidas por una cuerda entre las cuales había un cepillo de púas como el que se utilizaba en la limpieza de las chimeneas. Se imprimía a esa cuerda un movimiento de vaivén de manera que el cepillo rascase la superficie interior de la tubería y eliminase la naftalina que producía el atasco. No siempre era posible este tipo de limpieza. Por eso a veces se utilizaba alcohol o, incluso, un soplete para disolver la obstrucción.

Hay que decir que las obstrucciones de naftalina no eran habituales, en cambio era más corriente que se produjesen atascos por las aguas de condensación pero en este caso si la red había sido diseñada con una pendiente suficiente, estas aguas podían ser recogidas sin dificultad en los sifones. La causa de obstrucción por entrada de agua era poco habitual y solo se presentaba si el tubo tenía fugas y además se encontraba en medio de una capa freática que ejercía una presión suficiente para que el agua penetrase en la tubería (Marechal, 1894: 73-76).

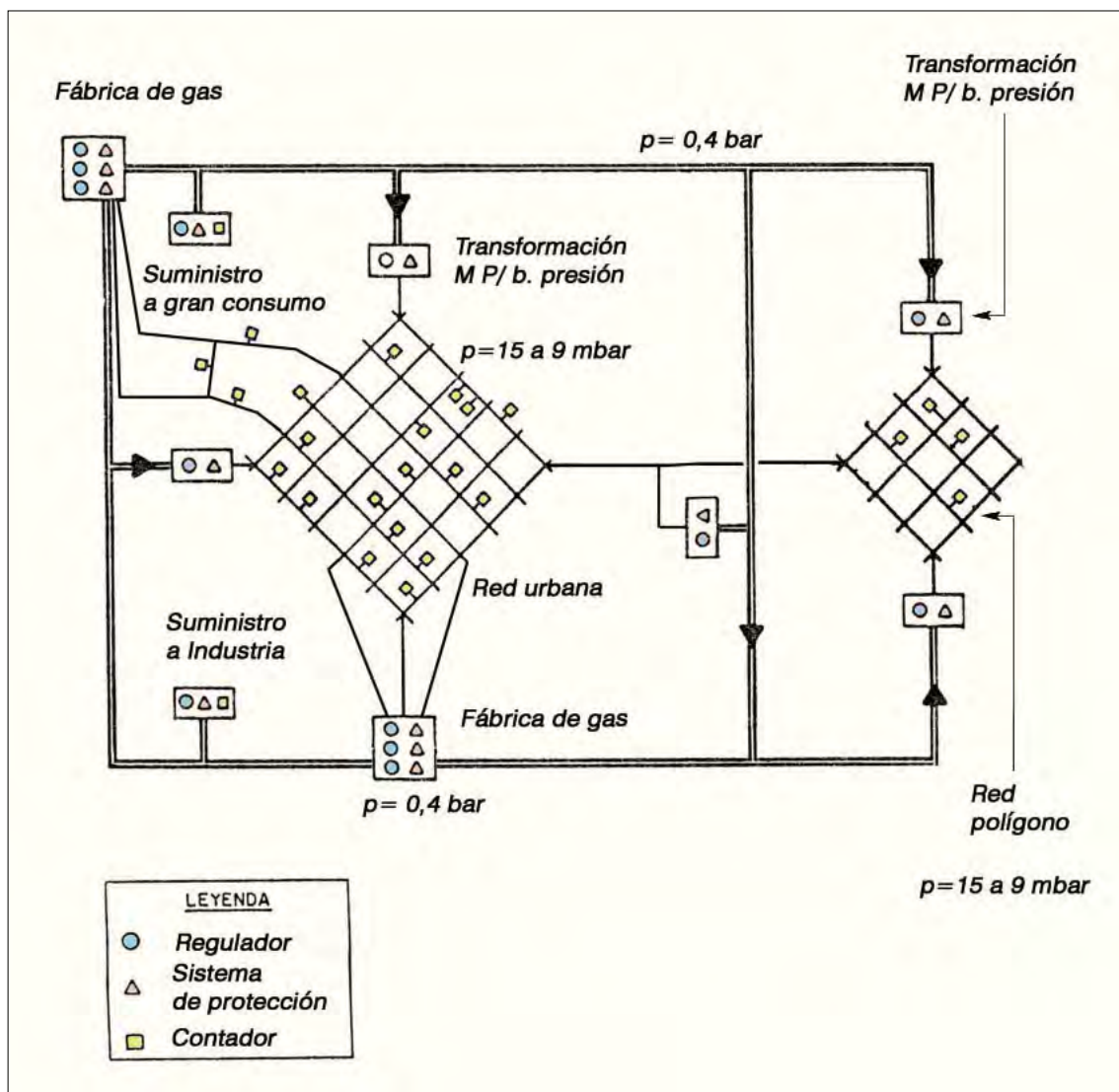
6.4. Evolución de la red de distribución

Las fábricas de gas ciudad, con el cambio de tipo de gas manufacturado, no tuvieron que modificar la red por esta causa. No tuvo que cambiar ninguna de sus características principales, precisamente porque la premisa del cambio estaba en que el tipo de gas emitido a las canalizaciones para el consumo tuviera las mismas características que el gas anteriormente producido a partir del carbón. El nuevo gas debía comportarse en los quemadores, tanto domésticos como industriales, de la misma forma que el antiguo gas.

No obstante el incremento de la demanda, y por consiguiente de la capacidad de emisión de gas, provocó un desarrollo de la red de distribución que había de ser capaz de poder proporcionar la libre circulación del gas. Bajo este criterio y porque a la salida de las plantas se dispuso de una emisión de gas a mayor presión mediante compresores, se diseñó una nueva red de gas que soportara dicha presión y sirviera de alimentador principal para poder suministrar con mayor capacidad la demanda. La red de baja presión siguió su proceso de ir cubriendo nuevo territorio y siguiendo el crecimiento de las nuevas zonas urbanas que habían de ser suministradas por gas.

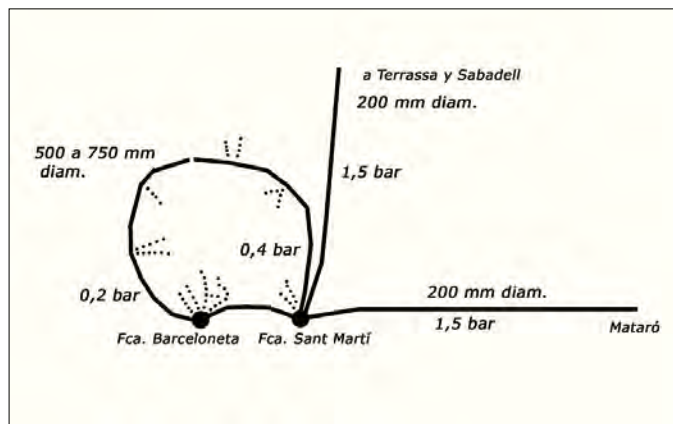
En esta época, en las ciudades importantes como Barcelona, Madrid, y otras se impuso la renovación de una red que estaba funcionando desde hacía más de cien años. La demanda y las condiciones de suministro obligaban a dotar de redes de mayor presión pero los tubos de que se disponía no permitían trabajar a una presión mayor que 4.000 mm de columna de agua, es decir 0,4 bar. En Barcelona con la incorporación, a mediados de los años 1960, de compresores volumétricos tipo

6. El sistema de distribución del gas manufacturado



Estructura general de una red de distribución de gas de mediados de los años 1960 (elaboración propia).

Roots situados en la fábrica, se impuso una nueva red de distribución de media presión, utilizando tubos metálicos recubiertos de cemento con diámetros de 400 mm y 750 mm que permitieron superar un período de fuerte demanda.

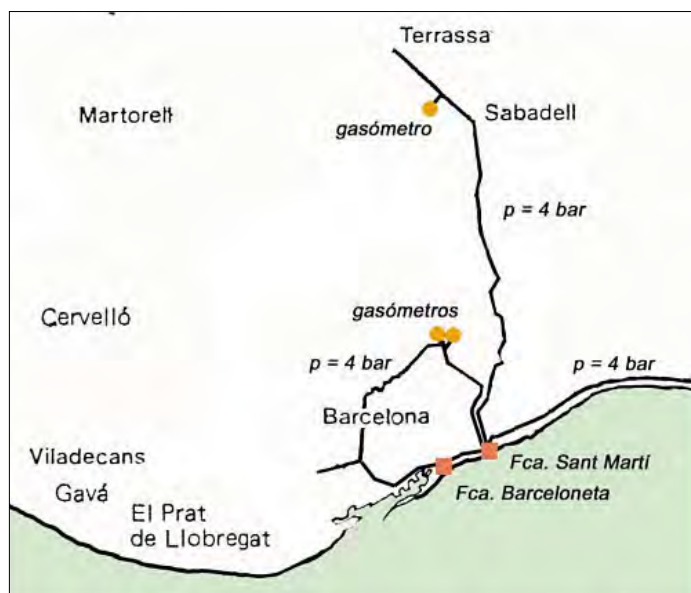


Esquema simplificado de la red de Barcelona.
Año 1960-64 (elaboración propia).

A finales de los años 1960 agotada la posibilidad de mantener el esquema anterior se instaló una nueva canalización de tubo de acero que circunvalaba la ciudad y que trabajaría a la presión de 4 bar. Al mismo tiempo que se fueron cambiando los antiguos tubos de chapa de hierro protegida con asfalto de transporte de Barcelona a Sabadell-Terrassa y de Barcelona a Mataró por tubería de acero y se aumentó la presión de emisión de 1,5 bar, a la presión de 4 bar. Fue un proceso de modernización de la red donde se puso de manifiesto la condición deficiente de las tuberías antiguas y de sus uniones, que no soportaban presión mayor que 1,5 bar.

En los años cincuenta, al mismo tiempo que en algunos países, como Italia o Francia, ya

se empezaba a distribuir el gas natural, se incorporó al elenco de materiales utilizados para la fabricación de tuberías la fundición dúctil, un material obtenido como resultado de un proceso de perfeccionamiento metalúrgico que tuvo su origen a mediados de los años cincuenta y que con la adición de cerio o magnesio, según la patente fuera británica o estadounidense. Este material propor-



Red de media presión de distribución de Barcelona.
Años 1968-69 (elaboración propia).

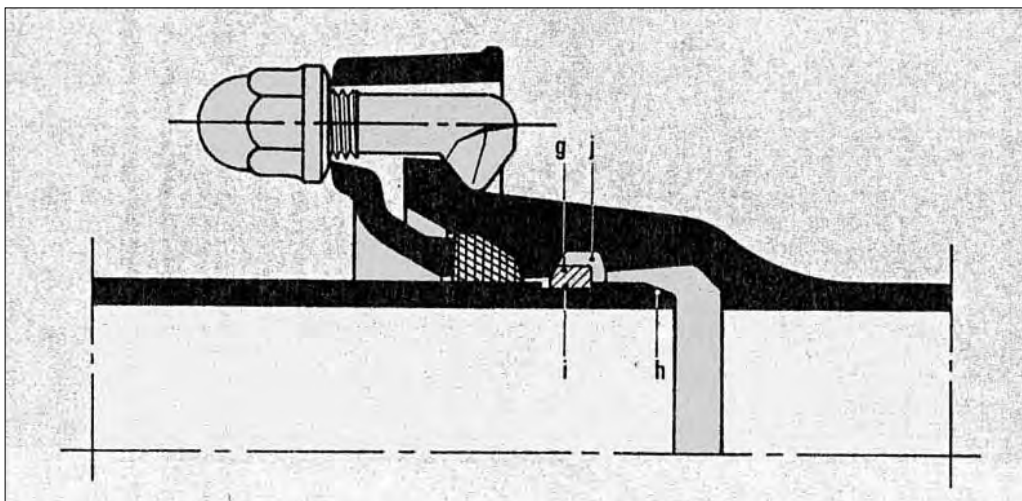
cionaba a la fundición gris las propiedades del acero. En la fundición dúctil, el grafito, siempre presente en todo tipo de fundición, se encuentra formando nódulos esféricos, en lugar de laminares que hacen la fundición gris más frágil. Con esta incorporación los tubos

de fundición dúctil tendrían un comportamiento intermedio entre los materiales rígidos –fundición gris– y los materiales más flexibles, y su elasticidad permitiría a la canalización absorber los esfuerzos mecánicos debidos al movimiento del terreno, sin ruptura ni separación en las uniones.

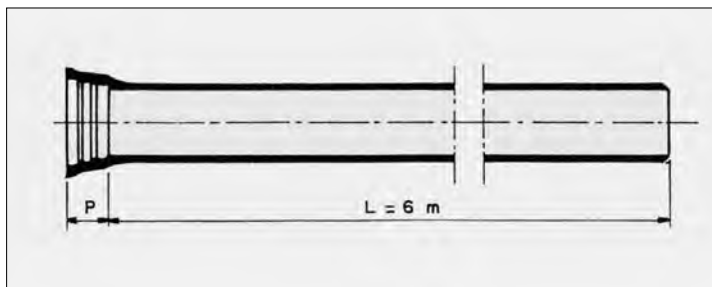
La fundición dúctil pues se empezó a utilizar en 1955 en Francia y Estados Unidos, en 1957 en Alemania y fue expandiéndose posteriormente por el resto de países con distribución de gas como España, que en los años 1960 ya se estaba utilizando. Su mejor resistencia mecánica y elasticidad frente a la fundición gris eran muy importantes, además no necesitaba tanto espesor y tenía una mejor resistencia a la corrosión que el acero. Sin

embargo no soportaba presiones elevadas, por ello el acero siguió utilizándose para las redes de transporte.

Los tubos de fundición dúctil tenían 6 metros de longitud y utilizaban del encaje entre unos y otros mediante el sistema de macho-hembra, similar al que se venían utilizando con los de fundición gris pero con mayores garantías de estanqueidad, ya que las piezas de unión habían sido experimentadas desde los años 1930. Por la parte interior y exterior eran barnizados para protegerlos más. La parte P del dibujo entraba dentro del tubo siguiente y las tuberías utilizadas para canalizaciones de gas de fundición dúctil iban desde los 100 mm hasta los 600 mm de diámetro interior.



Unión entre dos tubos de fundición dúctil
(Pont-a-Mousson S.A.).

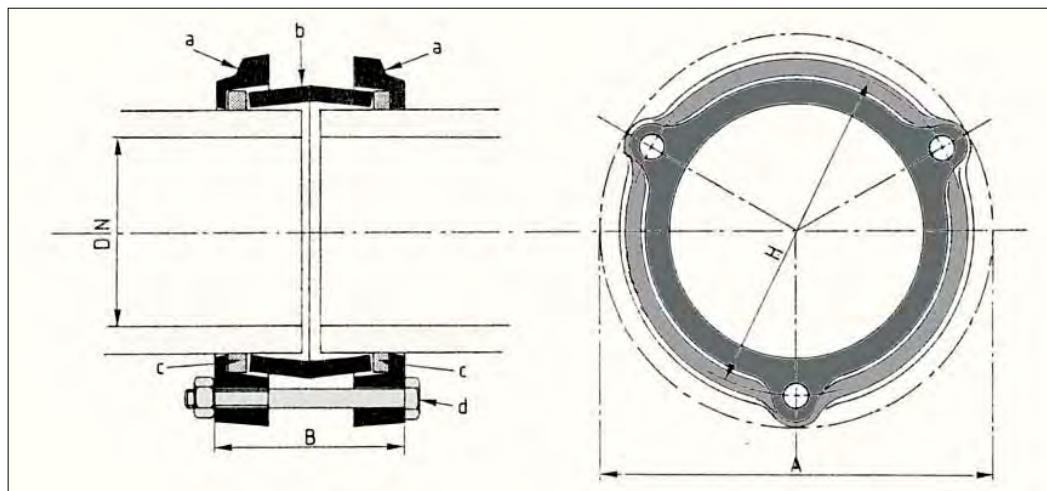


Tubería estándar de fundición dúctil (ATG, 1987: 54).

Las redes de distribución de gas ciudad de baja presión fueron ampliándose mayoritariamente con el uso de la fundición dúctil y también con tubos de fibrocemento, no tan utilizados en España como sí lo fueron en Italia, Bélgica y Holanda. En Francia y Gran Bretaña apenas se utilizaron. Las canalizaciones de fibrocemento utilizaron normalmente diámetros entre 40 mm y 250 mm y la longitud normal del tubo era de entre 3 y 5 metros, según

el diámetro. Evidentemente el fibrocemento tenía la ventaja de la ausencia de corrosión y una cierta facilidad en la reparación de golpes y perforaciones. También era fácilmente conectable con los tubos de fundición gris existentes, pero por contra era mucho más frágil que la fundición.

El acero, hasta los años 1960, se había utilizado en pocas ocasiones y solo en canalizaciones de gas muy importantes, el acero presentaba un límite de elasticidad que se situaba a lo sumo

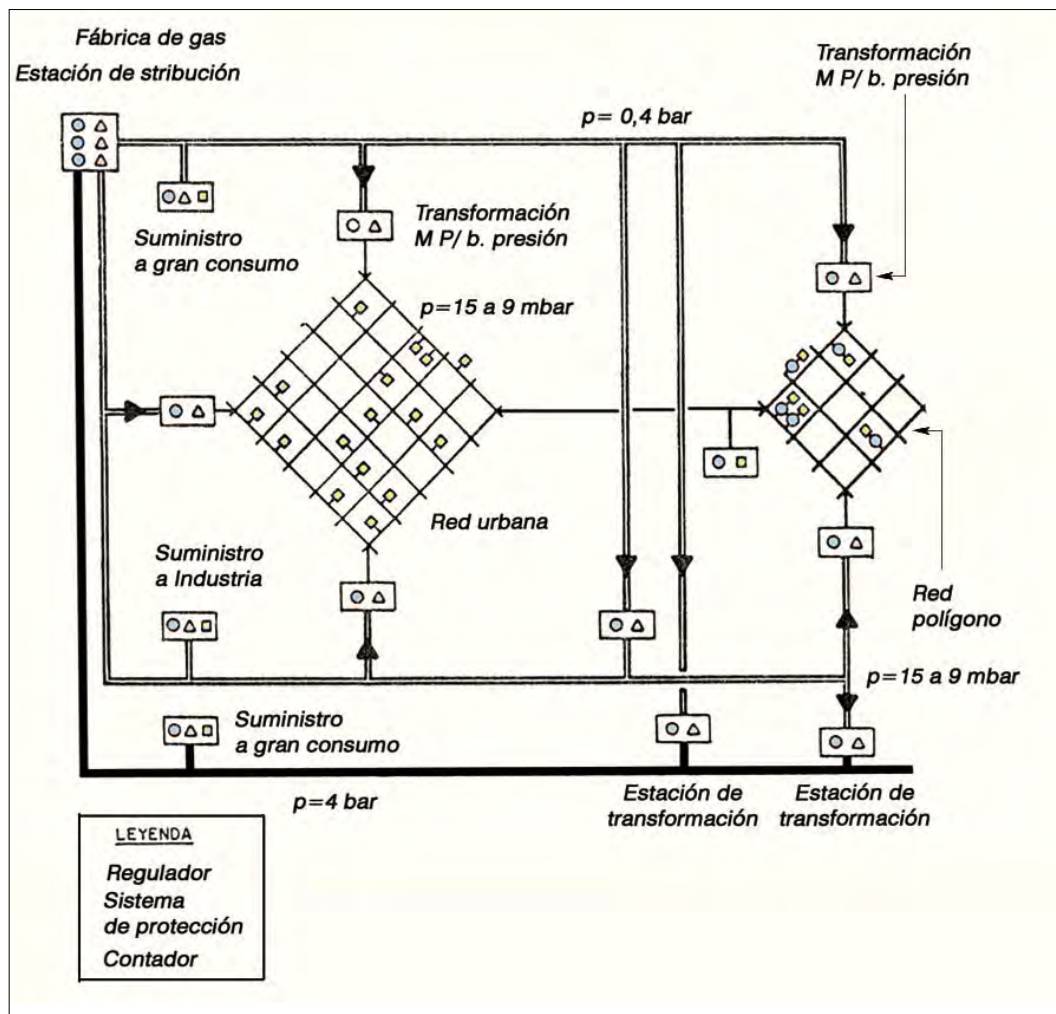


Unión normal de tubos de fibrocemento (ATG, 1987: 102).

6. El sistema de distribución del gas manufacturado

en el grado X52, sin embargo el desarrollo del transporte a distancia hizo que las tuberías de acero tuvieran mayores prestaciones, mayores diámetros y mayor capacidad para la resistencia

a la alta presión que poco a poco fue incorporándose en el sistema de gas canalizado y que entraría en otro ámbito de mayor envergadura que las redes regionales.



Esquema simplificado del sistema de suministro de gas ciudad en Madrid. Año 1980 (Martínez Díaz, 1980:6).

La distribución de Madrid empezó a modificarse a mediados de los años 1960, cuando se inició la construcción de una nueva red a una presión de 0,4 bar, que sirvió para poder distribuir a mayores extensiones urbanas.

Hay que indicar que la elevada proporción de tubería de PVC solo se daba en las redes de distribución de Cataluña, en esta ciudad y en la ciudad de Vic. En otras ciudades o poblaciones con fábrica de gas, el PVC no se utilizó tanto y quedó con porcentajes muy pequeños.

Cuadro 6.2. La red de distribución de Madrid en 1970

Red	Presión	Nueva tubería utilizada
Media presión	0,4 bar	Fundición gris (hasta 1968) Fibrocemento (desde 1961) Fundición dúctil (desde 1968)
Baja presión	0,009-0,012 bar	

En 1975 se empezó a desarrollar otra nueva red, esta para trabajar a la presión de 4 bar, una presión media que posibilitaba la implantación de nuevas instalaciones en la periferia de la capital desde la fábrica de gas de Manoteras.

También podemos señalar otra ciudad, Manresa, que en el año 1968 emprendió una reforma de su red de media presión que llegaba hasta 0,4 bar. El diámetro más usual de las tuberías era de 100 mm. Toda la tubería de media presión, construida con tubo metálico, tenía la forma que muestra el esquema, con dos alimentadores que trabajaban uno a la presión de 3.100 mm (0,31 bar) y el otro a 1.100 mm (0,11 bar).

En lo que se refiere a la red de baja presión la sección mayoritaria era la tubería de plancha asfaltada de 50 mm de diámetro y la composición de esta red era la siguiente:

Son ejemplos de la renovación que se efectuó en estos años en la mayor parte de las ciudades españolas en las que la demanda de gas era creciente y como consecuencia de este aumento de la demanda de gas canalizado, que llevó aparejada la introducción de las nuevas técnicas de fabricación de gas, se iniciaron nuevas redes para poder dar salida a dicha producción.

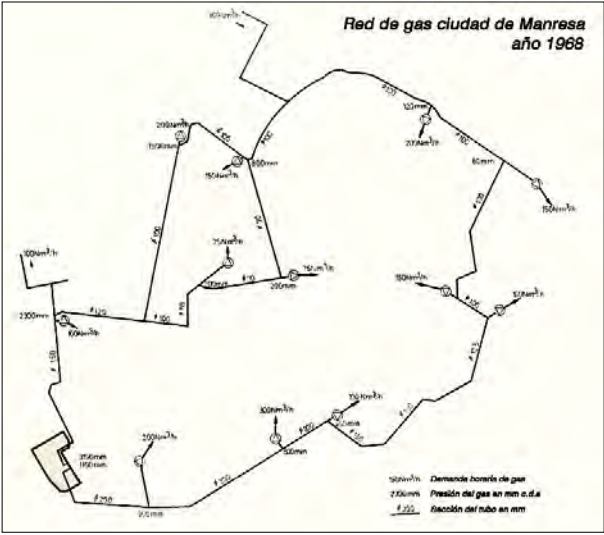
Dentro de esta mejora tecnológica para adaptarse a las necesidades del mercado, se introdujeron también depósitos de reserva, no tan solo dentro de las fábricas de gas, como ya se venía haciendo desde el origen, sino también fuera de la fábrica, en lugares donde el depósito permitía poder suministrar gas mientras la fábrica seguía produciéndolo, quizás a un ritmo algo menor.

En aquella época se instalaron para este menester depósitos esféricos. Este tipo de depósitos se

Cuadro 6.3. La red de distribución de baja presión de Manresa en 1968

Plancha asfaltada	Fundición gris	Fibrocemento	PVC
28 km	4.2 km	0,7 km	12,5 km

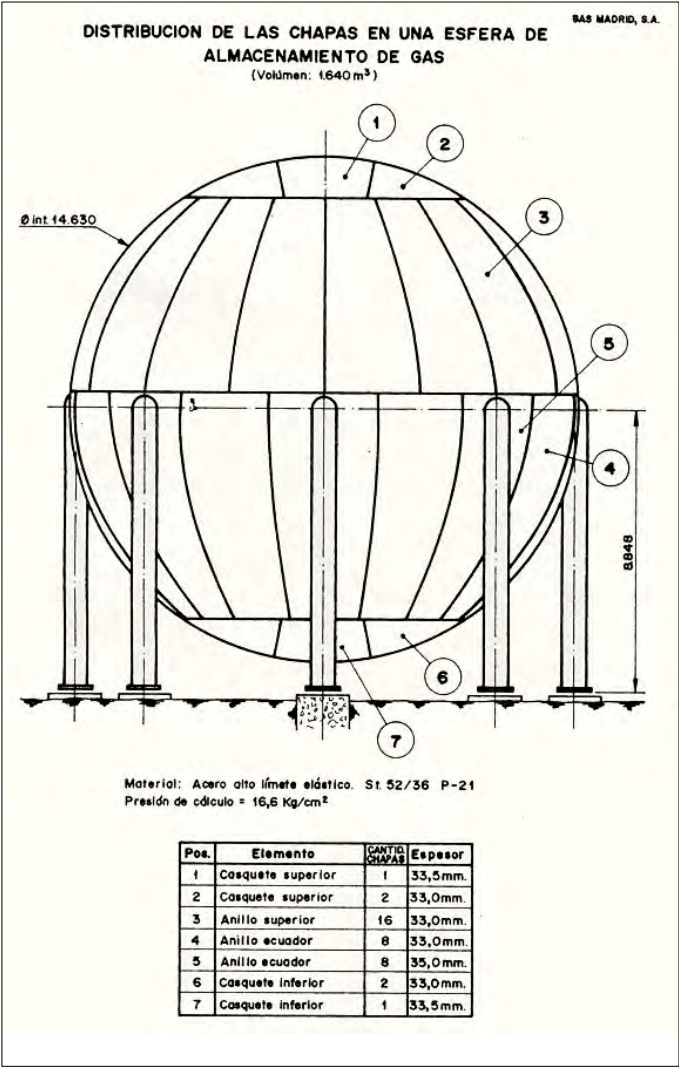
6. El sistema de distribución del gas manufacturado



Esquema de la red de media presión de la ciudad de Manresa (AHFGNF).

empezaron a instalar en Europa a mediados de los años 1940. Cabe decir que a diferencia de los gasómetros, que tenían una presión sensiblemente constante, que era la que proporcionaba el peso del cabezal superior de cierre, los depósitos esféricos trabajaban a volumen constante y la presión era variable según la cantidad de gas introducida. Sin embargo la presión de emisión era constante y controlada por compresores.

Gas Madrid utilizó depósitos esféricos en su fábrica de Manoteras como elementos de almacenaje en lugar de los tradicionales gasómetros que daban una presión muy baja. Catalana de Gas y Electricidad los insertó en la red de Barcelona, en Horta y en el gasoducto de Sabadell-Terrassa y fueron definitivamente eliminados en el año 1991.



Depósito esférico de gas de la fábrica de Manoteras en Madrid (Fernández, 1980: 5).

En los últimos años de distribución del gas manufacturado mediante el craqueado de nafta, antes de la introducción de gas natural, las fábricas de gas destacaron por intentar tener una información de la situación de la red y de los parámetros de presión de la misma. No obstante, el principal control del suministro de gas estaba principalmente en la fabricación de gas, con la información de las producciones de gas manufacturado y las presiones de emisión hacia la red. De la propia red se disponía de informaciones muy limitadas y solo de la presión de suministro en una serie de puntos, normalmente los que presumiblemente se daría la menor presión de la red, para controlar “a posteriori” cual había sido dicha presión y averiguar lo que había pasado según la información que proporcionaban.



Aparato medidor de presión en la red de gas. El aparato se conectaba a la tubería en el punto de la red que se había seleccionado y la medición se efectuaba mediante un marcador situado en la parte opuesta de la imagen. Mediante un mecanismo de relojería el cilindro giraba durante un intervalo de tiempo, usualmente 24 horas, y el marcador iba dejando registrada la presión en la hoja de papel circular. El conjunto quedaba cerrado por la tapa de la derecha para evitar mediciones incorrectas (AHFGNF).

En Barcelona se utilizaron unos registradores de la presión ubicados en la red de baja presión que proporcionaban una gráfica con información de la oscilación de la presión durante 24 horas. Su funcionamiento era muy simple, la presión del gas se transmitía a un recipiente con agua y un flotador iba marcando el nivel de agua en la gráfica. El nivel era proporcional a la presión del gas. Cada día se recogía el gráfico y se volvía a colocar el medidor en el mismo u otro punto de la red. Con muchos puntos medidos, dichas gráficas permitían analizar la situación de la red.

Otros medidores utilizados fueron los que registraban presión, temperatura y caudal, eran los magnetotermógafos. Estos se colocaban principalmente en las estaciones de regulación. En Barcelona se utilizaron equipos que tenían una gráfica que permitía tener las medidas de una semana y se instalaron en las estaciones de regulación de la ciudad entre la red de 10 bar y la red de 1,5 bar.

Las pequeñas redes regionales, como por ejemplo la de Mataró o Sabadell-Terrasa, en el área de Barcelona, fueron las primeras a las que se les aplicó una sistemática para poder obtener la presión de llegada y su variación a lo largo de las 24 horas. Las telemidas fueron las primeras actuaciones que, mediante vía telefónica asignada específicamente, se introdujeron para obtener esta información.

6.4.1. Control de fugas

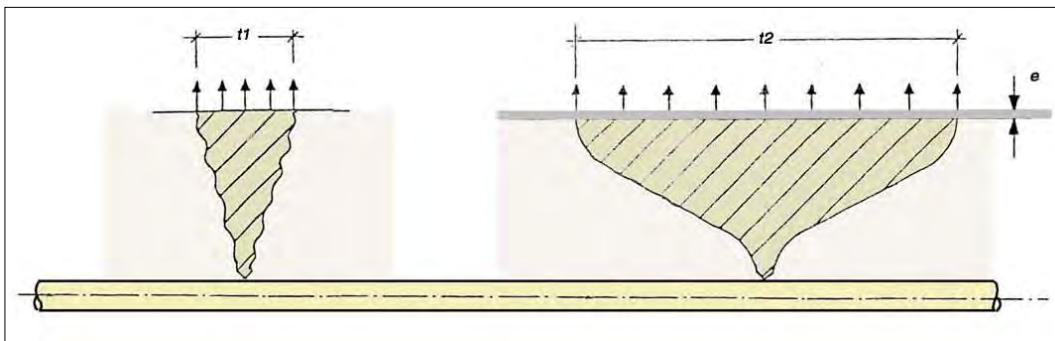
Uno de los aspectos importantes en una red de distribución de gas ha sido siempre el control de las fugas de gas, motivado para reducir las pérdidas de gas que se producen y también para evitar las posibles explosiones por gas acumulado en espacios cerrados.

El gas manufacturado es menos pesado que el aire, lo que representa que si se escapa de las tuberías va impregnando el terreno superior hasta que alcanza la atmósfera. Cuando se encuentra en la atmósfera entonces tendrá tendencia a disiparse en la misma o acumularse en las partes más altas del entorno de donde ha escapado y es en estos puntos donde existe el peligro de acumulación de gran cantidad de gas que puede explosionar con la aplicación de una chispa o un punto muy caliente. Esta situación poco a poco se empezó a intentar evitar mediante el control de las fugas de las tuberías enterradas.

En los años cincuenta el control se efectuaba mediante un seguimiento escrupuloso de las canalizaciones y la captación de posibles

escapes mediante el olor del gas desprendido o del terreno. El método más conocido era efectuar la perforación de un agujero encima de la canalización; un agujero cada 2,5 metros en toda la longitud de canalización y de las acometidas de forma sistemática. En caso de existencia de fuga en el tramo, el gas tenía un paso más libre por el agujero y se detectaba la fuga por el olor. No había aún aparatos que detectaran de forma automática el gas en estas condiciones.

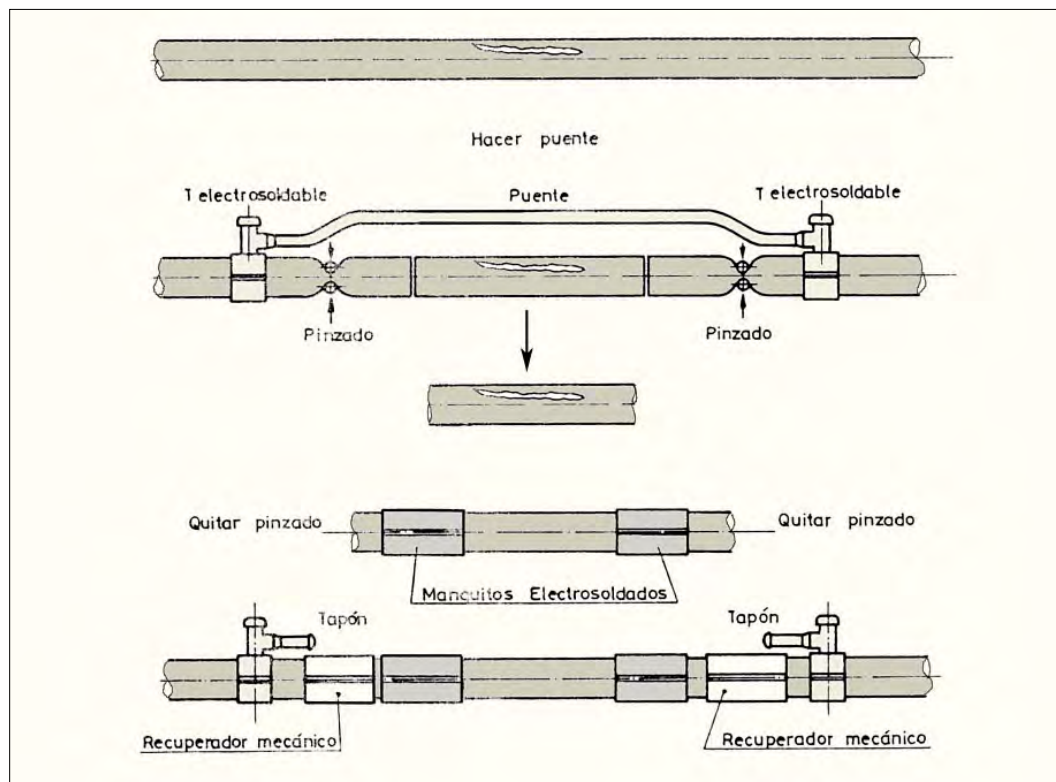
En los años sesenta con el aumento de la presión en la red mediante canalizaciones nuevas también se precisaba una mayor capacidad de detección y se introdujo un sistema que incorporaba detectores de gas por ionización de la llama –llamados FID– que podían detectar hasta 5 cm³ de gas dentro de 1 m³ de aire. El sistema funcionaba aspirando el aire casi a ras de suelo y mediante un sistema de conducciones transportándolo al detector que iba registrando las concentraciones de hidrocarburos en el aire marcando la desviación correspondiente. La información registrada se analizaba a posteriori en el laboratorio, y se determinaban los puntos de mayor fuga.



Los escapes del gas según el tipo de recubrimiento del suelo. En suelos recubiertos de adoquines, losas o asfalto el embolsamiento del gas es superior a los de tierra por la mayor dificultad que tiene en salir a la atmósfera (Gajda, 1979:8).

En los años setenta la detección seguía efectuándose con la misma técnica, que había sido perfeccionada con la incorporación de detectores contruidos con semiconductores, aunque este sistema de detección tenía un umbral de sensibilidad mayor que la técnica FID. Otro aparato utilizado para la detección de fugas se basaba en la diferencia de velocidad de propagación del sonido en dos cámaras una con aire y otra con la muestra a detectar, el gas produce una propagación distinta y un medidor detectaba la diferencia señalando la presencia de gas.

La reparación de las fugas de gas también ha ocasionado una cierta tecnología, que en función del tipo de fuga y del tipo de material se ha trabajado de una forma diferente. Si es una junta la que pierde gas se procedía o bien a un encapsulado de toda la junta sin necesidad de cortar el suministro, o mediante una reposición de la misma. En el caso de fisura en tubo se solucionaba, en función de su dimensión, con una abrazadera de reparación o con la reparación completa del tramo afectado.

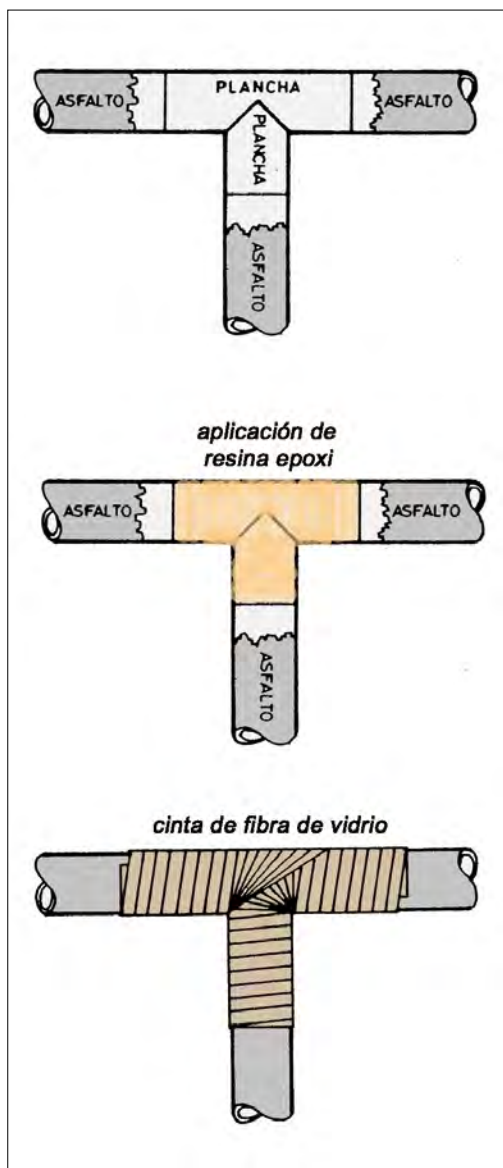


Proceso de reparación de una fisura larga en un tubo de PVC (Legarreta, 1979: 20).

Con la incorporación de nuevos sistemas de producción de gas, el sistema de distribución, es decir: las tuberías, las uniones entre tubos y las derivaciones a ramales secundarios, fueron cambiando, adaptándose a unos requerimientos más normativos que con los que anteriormente se había iniciado y desarrollado la red. Circulaba un gas distinto, fabricado con nafta, pero de la misma familia. En algunas redes era aún el mismo tipo de gas que siempre se había producido (con carbón), pero los materiales de la red habían ido cambiando. Abandonada la fundición gris por la fundición dúctil, mejor adaptable a impactos y de mayor resistencia química, la red también empezaba a adoptar los nuevos materiales plásticos y abandonaba la chapa de hierro asfaltada.

En algunos casos el cambio también se había efectuado aumentando la presión de suministro y pese a la incorporación de nuevos materiales, la mezcla de distintos tipos de tuberías ocasionó la necesidad de un control más riguroso de las fugas.

En la reparación de fugas se incorporaron también nuevos materiales como las resinas epoxi, que forman parte del conjunto de polímeros termoestables, materiales conocidos desde principios del siglo XX. Estas resinas fueron utilizadas en la reparación de fugas o en la consolidación de uniones mediante una preparación previa de la tubería, según fuera de fundición gris, plancha asfaltada o fibrocemento, los tres tipos más usuales en las antiguas redes de gas españolas.



Refuerzo de una unión T de chapa asfaltada, mediante resina epoxi aplicada sobre la chapa y recubrimiento de cinta de fibra de vidrio como protección externa (Legarreta, 1979: 14).

6.5. Los reguladores

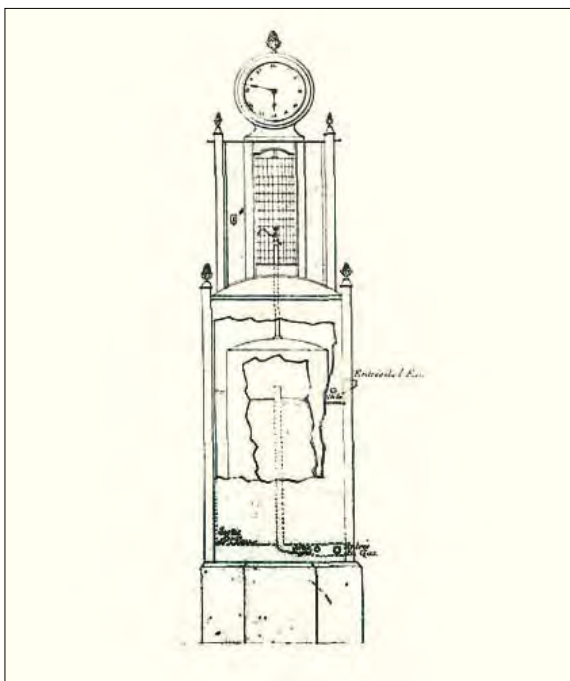
Para conseguir una buena combustión del gas, la presión del gas en las tuberías debía mantenerse constante a un valor un poco superior a la presión necesaria en el interior de los quemadores. Esta presión debía controlarse, ya que al circular el gas por los contadores y las tuberías se producían pérdidas considerables de esta presión. Por eso en ciertos puntos de la red se ponían manómetros registradores que revelaban de manera gráfica la presión y de los que se ocupaban vigilantes municipales o de la empresa suministradora. Estos aparatos, conocidos también como indicadores de presión se caracterizaban por disponer de un tambor vertical que efectuaba

una revolución completa cada 24 horas y que estaba recubierto por una hoja en la que quedaba registrada la variación de la presión.

Para conseguir una presión adecuada en el quemador era imprescindible que la presión de salida del gas en el gasómetro estuviese regulada. La presión de la red de gas oscilaba entre 80 y 120 mm de columna de agua y se mantenía entre estos valores gracias a los reguladores y manómetros. Pero para evitar las pérdidas de carga, la presión tenía que ser un poco superior a la salida del gasómetro, aproximadamente de 150 mm, esto se conseguía con los reguladores de emisión, que eran los que se instalaban en la tubería de emisión que era la que conectaba directamente con el gasómetro.

El regulador de emisión era un aparato compuesto de una válvula accionada por una campana o bien por una membrana de cuero que estaban sometidas por su cara exterior a la presión atmosférica y por su cara interior a la presión del gas. Cuando la presión de la red bajaba, la campana o la membrana descendían y aumentaba la sección de paso del gas. Al contrario, si la presión de la red aumentaba, cosa que sucedía en los momentos en que la demanda de gas descendía, la campana o la membrana se elevaba, reduciéndose así la sección de paso del gas.

El primer regulador de presión fue inventado por Samuel Clegg y permitía controlar la presión de la campana del gasómetro y de esta forma se regulaba la cantidad de gas repartido. Una disminución de la presión se compensaba añadiendo unos pesos a la campana, se decía entonces que se daba presión. Pauwels también ideó dos tipos de reguladores de emisión, el primero de los cuales proporcionaba un caudal de gas a presión constante mientras que el otro era similar a un limitador de presión de

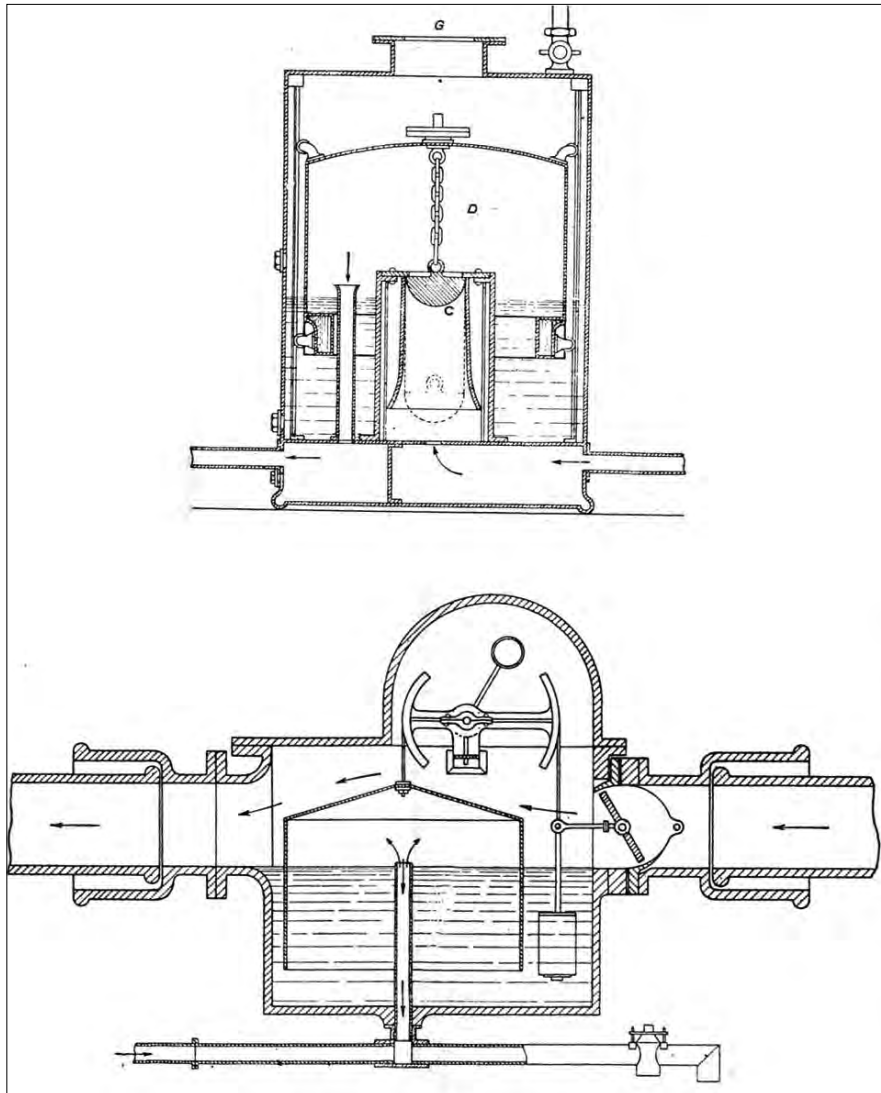


Indicador de presión (Marechal, 1894: 77)

6. El sistema de distribución del gas manufacturado

gas. El primero de ellos constaba de una campana hidráulica en cuyo interior había un obturador C suspendido que se podía

desplazar a lo largo de un tubo cónico situado dentro de la campana y en contacto con los tubos de entrada del gas.



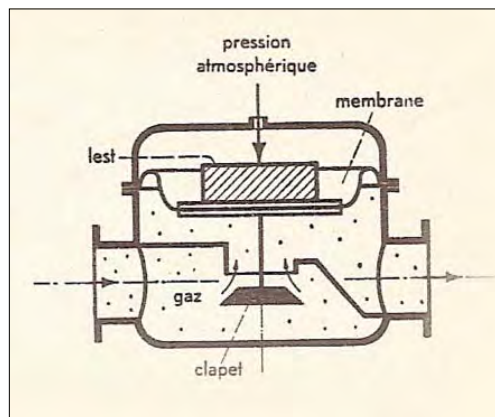
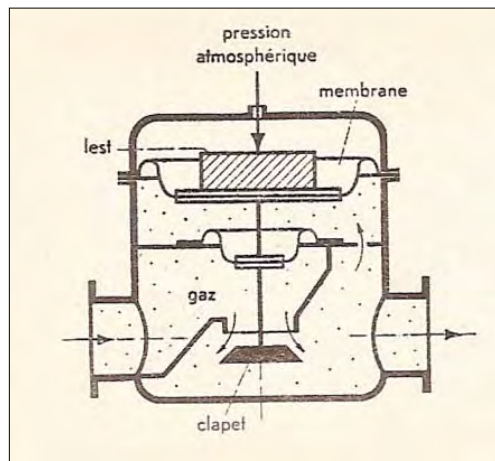
Arriba el regulador Pauwels, abajo el gasocompensador (Journal, 1931: 101-102).

Si la presión disminuía, la campana bajaba y el obturador C abría el paso de gas hasta que el equilibrio se volvía a restablecer. Si, por el contrario, la presión aumentaba, la campana subía y el obturador C cerraba el paso del gas. Este regulador primitivo estaba totalmente cerrado y solo había una única abertura G por la que pasaban los contrapesos. Esta servía también para permitir el escape del gas a la atmósfera en caso de fallo de los cierres hidráulicos.

El segundo regulador diseñado por Pauwels y patentado en 1849 sirvió para limitar el exceso de presión del gas por encima de la presión atmosférica independientemente de la presión de los gasómetros. Llamó a este aparato “gasocompensador”. Consistía en una caja de fundición cerrada en cuyo interior había una campana. La caja estaba atravesada por el caudal de gas que entraba y salía por unos tubos dispuestos de manera opuesta. En la parte inferior de la caja había una cubeta cilíndrica llena de agua en la que se sumergía la campana, la cual estaba conectada a un contrapeso. Si la campana estaba completamente sumergida, la válvula de acceso del gas permanecía completamente cerrada. A medida que la campana subía, la válvula giraba y el gas empezaba a entrar. Entonces la caja aumentaba su presión, ya que se llenaba su interior de gas el cual actúa sobre la campana para vencer la presión atmosférica, que era la presión a la que estaba el aire que quedaba entre esta y la superficie del agua. Las dimensiones del contrapeso permitían precisar con exactitud cuál era el límite de presión que no se debía superar (Journal, 1931: 100-102).

Posteriormente se desarrollaron dos tipos de reguladores. Aquellos que una vez regulados mantenían la presión en un valor constante independientemente del caudal de la red, que se llamaban reguladores equilibrados, y los que

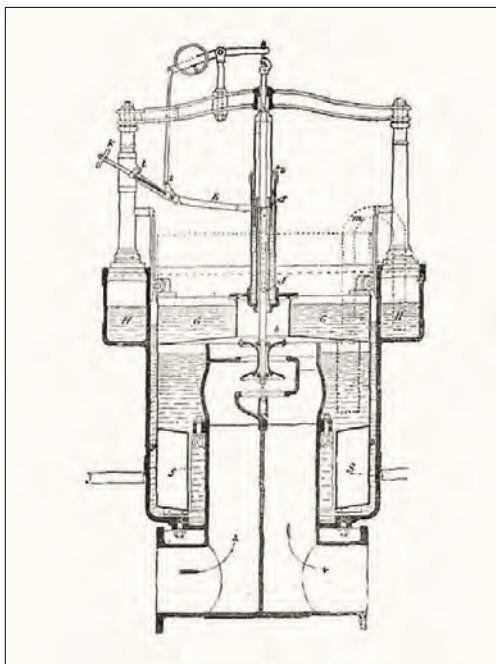
la presión de salida dependía de la presión de entrada, conocidos como reguladores no equilibrados. En estos últimos la variación del peso que actuaba sobre la campana o la membrana permitía variar la presión de salida y esto solía ser recomendable en aquellas redes en los que el consumo tenía periodos punta y periodos valle (Bosko, 1957: 209-211).



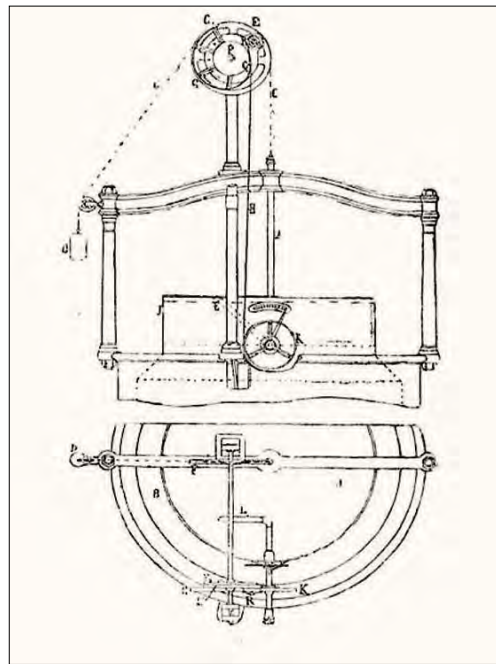
Reguladores equilibrados y no equilibrados
(Bosko, 1957: 211).

6. El sistema de distribución del gas manufacturado

Entre los primeros modelos de regulador se encontraba el regulador Garcís que como la mayoría de estos aparatos regulaba la presión mediante una válvula de admisión accionada por una campana que estaba sumergida en agua y cuyo interior estaba conectado con el conducto de entrada de gas. En el dibujo siguiente se puede ver este tipo de regulador en el cual b representa la válvula y f la campana que está provista de un flotador anular. Encima de la campana había dos ejes articulados en forma de horquilla de palanca E que se balanceaba alrededor del punto de rotación l. El movimiento de esta palanca se transmitía a la válvula, de manera que si la campana subía, la palanca cerraba la válvula y si bajaba, la abría.



Regulador Garcís (Shilling, 1895 :181).



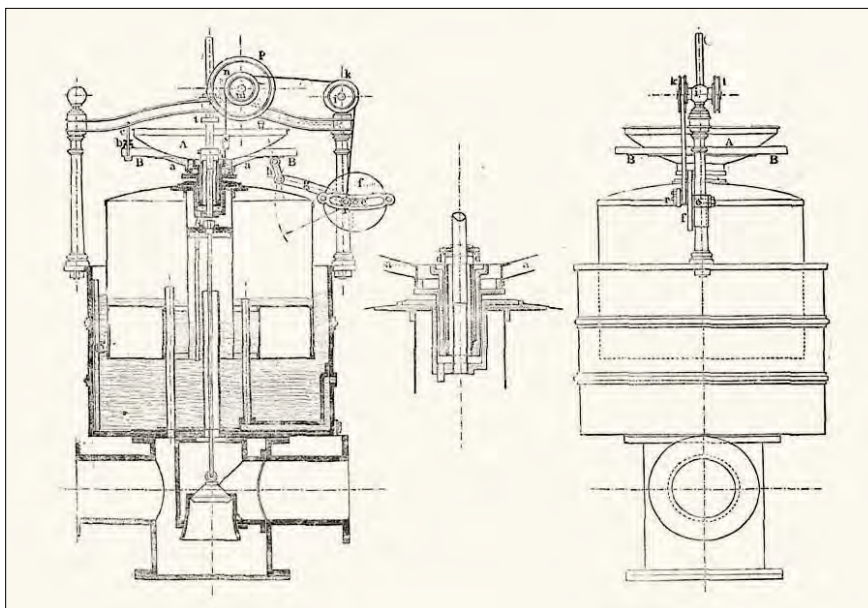
Regulador Elster (Shilling, 1895 :182).

pasando a H y bajando el nivel de G con lo que se reducía la presión sobre la campana.

Este regulador se fue perfeccionando posteriormente incorporando un mecanismo que compensaba la variación del peso de la campana por el hecho de estar sumergida en el agua. Así surgió el regulador Elster que se caracterizaba porque sobre la campana B había un depósito J que estaba provisto de un sistema de vaciado, de manera que, cuando estaba demasiado lleno, se ponía en marcha un mecanismo compuesto por una rueda K, accionada por un hilo metálico H, por una espiral G y otra rueda E, que estaban unidas a un contrapeso D mediante la cuerda C. Cuando la campana se movía, la rueda E, que estaba en la periferia, giraba y con ella la espiral G en cuyo extremo había un rodillo R que recogía el

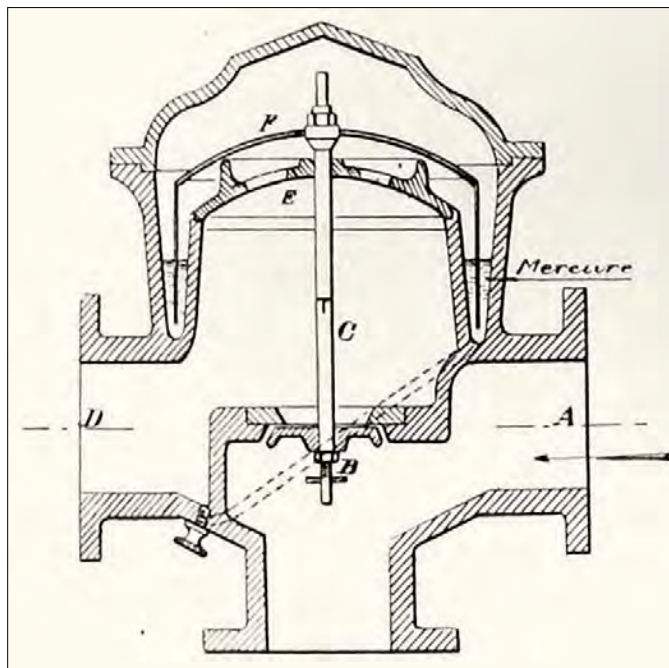
extremo de un hilo metálico H mientras que la espiral recogía la cuerda C. De esta manera la espiral G enrollaba y desenrollaba en su parte central tanta cuerda como se había desplazado la campana.

Pero si el consumo de gas aumentaba, la espiral no recogía igual cuerda que el desplazamiento de la campana, ya que la rueda K giraba de manera que se modificaba el nivel del depósito J y este se llenaba más de agua, subiendo así la presión del gas. Al revés, cuando la campana subía y la espiral giraba, esta ya no podía enrollar toda la cuerda, ya que la rueda K volvía a actuar ahora reduciendo el nivel del agua del depósito y por tanto la presión del gas. Con este mecanismo compensatorio se conseguía una mejor regulación.



Regulador Ledig (Shilling, 1895 :183).

Más perfeccionado fue el regulador Ledig ya que no solo regulaba la presión sino también el caudal reglamentario diario de la fábrica y además proporcionaba una presión adicional entre 0 y 15 mm para compensar las diferencias



Regulador de mercurio (Mineur, 1922: 38).

de consumo tanto al inicio como durante el periodo de funcionamiento del alumbrado. Este regulador, cuando el caudal disminuía, aumentaba la presión en el cuadrado de disminución del consumo y cuando el consumo se paraba, restablecía la presión inicial.

Disponía de un recipiente abierto A con forma de paraboloide rotatorio cuya curvatura estaba calculada de manera que un descenso de la

campana no solo modificaba la carga sino que se compensaba de todos los defectos de su inmersión en el depósito de agua.

También tenía un recipiente B plano y cerrado que circundaba la parte inferior del A, comunicándose con él, solo por dos tubos y que servía para regular la presión adicional de la noche (Shilling, 1895 :181-184).

Hacia 1920 se solía utilizar el regulador de mercurio, como el de la figura, el cual se montaba sobre una derivación en by-pass. El gas llegaba por A y penetraba en la cámara C por el orificio circular accionado por la válvula B y salía por D. La campana G, que comunicaba con la cámara C por el orificio E, se sumergía en un baño de mercurio. Esta campana podía elevarse libremente y mover con ella a la válvula B mediante el eje T. Si había disminución del caudal en la red más allá del regulador, la presión aumentaba de manera que la presión debajo de la campana también aumentaba y esta subía cerrando parcialmente la válvula B hasta que la presión se restablecía automáticamente.

Los reguladores se fueron perfeccionando en los años posteriores. Sin embargo, la existencia de diversas fábricas en una misma ciudad complicaba el problema ya que estas modificaban el caudal a diario como consecuencia de las circunstancias de la producción y todo ello dificultaba considerablemente la regulación a pesar de ser muy necesario asegurar la presión en aquellos lugares de mayor consumo (Mineur, 1922: 38-39).

En muchas ocasiones una misma red servía para suministrar gas a diferentes centros de consumo alejados entre sí y resultaba imposible garantizar la alimentación a

alguno de los centros si se mantenía la presión de uso. En este caso se dividía la red en dos partes, de las cuales una funcionaba sobre presión mientras que la otra lo hacía a la presión habitual. Los conductos que transportaban el gas a alta presión se denominaban feeders. Consistían en tubos de acero soldados por donde circulaba el gas comprimido a una presión de diversos metros de columna de agua. En el punto de unión del tramo de alta presión con el de baja se colocaba un regulador de presión, conocido como reductor-regulador, cuyo objetivo era reducir la presión del gas desde los valores de alta a los de uso. Para incrementar la presión del gas se utilizaba compresores rotativos o centrífugos (Bosko, 1957: 212).

En 1909, Catalana de Gas instaló el primer transporte feeder de España desde la fábrica de la Barceloneta hasta San Andreu del Palomar dejando la fábrica de esta población fuera de servicio. Se trataba de una fábrica propiedad de Catalana desde 1866, que había sido construida diez años antes y que suministraba gas no solo a San Andreu sino a la población vecina de Horta actualmente ambos barrios de Barcelona (Falgueras 54).

En algunas instalaciones, el gas de alta iba a parar a un gasómetro pulmón o gasómetro de red de distribución. Este gasómetro se llenaba de gas y una vez efectuado este primer paso se tenía que poder cortar la llegada de más gas hasta que volviese a estar vacío total o parcialmente. El gasómetro pulmón actuaba como regulador de presión y como centro de distribución, de forma que permitía reducir la presión del gas hasta la de uso y lo distribuía después entre los usuarios.

El recurso a la alta presión fue muy importante ya que permitió afrontar el

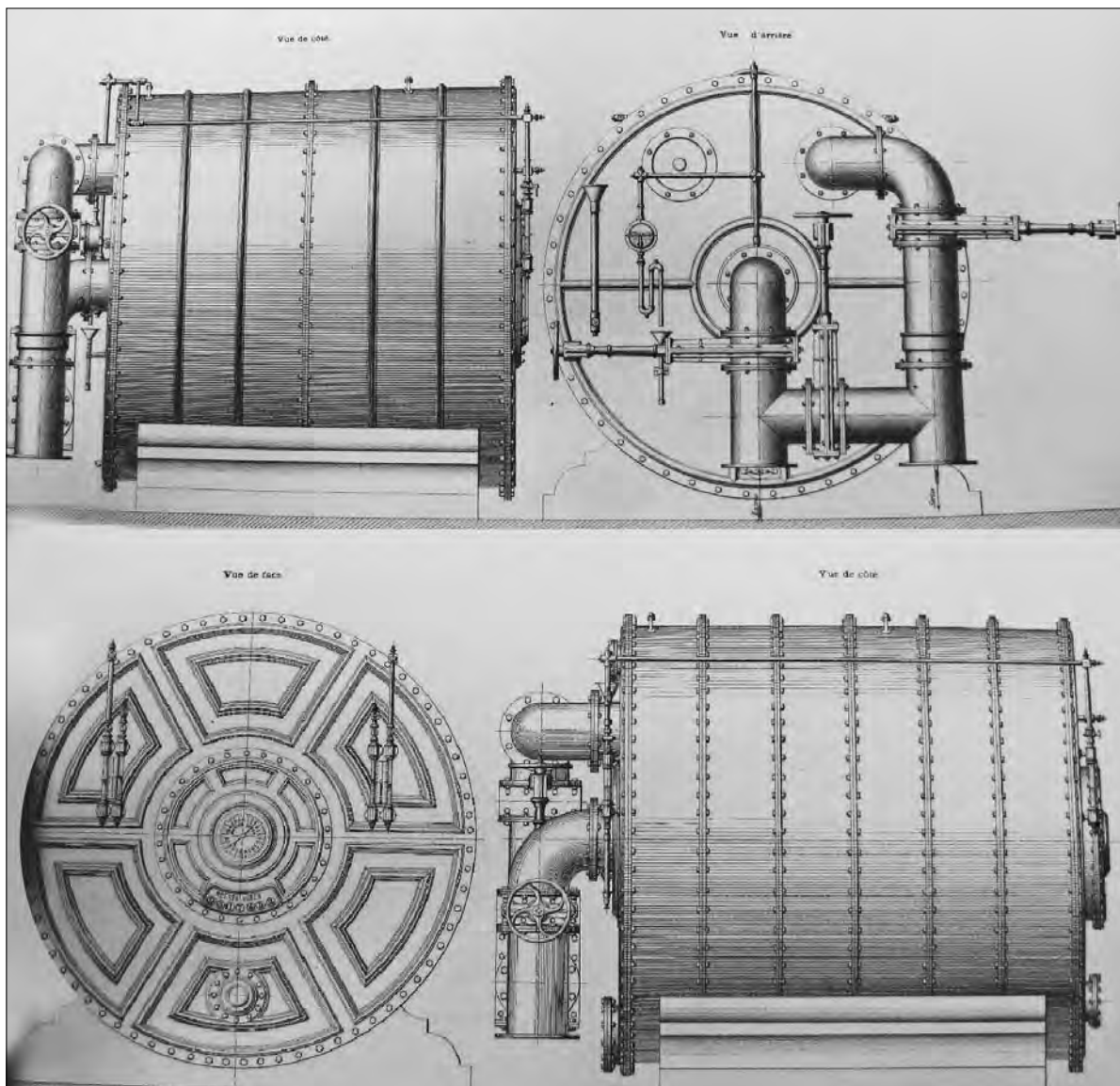
incremento del número de consumidores y del volumen de consumo ya que facilitaba la variación a voluntad de la presión de distribución. Además, permitía resolver el transporte del gas a grandes distancias. Así pues si la red de distribución a presión normal era insuficiente, en lugar de sustituirla se construían gasómetros pulmón o recipientes acumuladores. De esta manera permitía crear una reserva de gas cerca del lugar de consumo. Estos gasómetros se solían llenar por la noche cuando el consumo descendía. Si el gas se almacenaba a alta presión en esos gasómetros se requería disponer de unos reguladores que aumentasen la presión a la entrada y la redujesen a la salida.

6.6. Los contadores de gas

El gas después de ser purificado y antes de entrar al gasómetro pasaba por un contador en el que se medía el número de metros cúbicos fabricados. Había dos tipos de contadores: los de fabricación que determinaban la cantidad total de gas producido en la fábrica y los contadores de abonado que indicaban su consumo por el usuario. Así pues, el contador no era un elemento del proceso de producción de gas, pero servía para controlar el buen funcionamiento de la fábrica y el rendimiento del carbón (Darcel, 1878: 55).

Los contadores de fábrica proporcionaban una gráfica de la producción de gas cada 24 horas mediante un mecanismo de registro que dibujaba sobre un tambor las subidas y bajadas de producción en función del tiempo. Los contadores de abonado servían, en cambio, para medir el consumo, es decir, el gas que recibía el usuario, para poder así cobrar por el suministro.

6. El sistema de distribución del gas manufacturado



Contadores de fábrica (Notice, s/f: pl. 7-8).

6.6.1. Contadores de fábrica

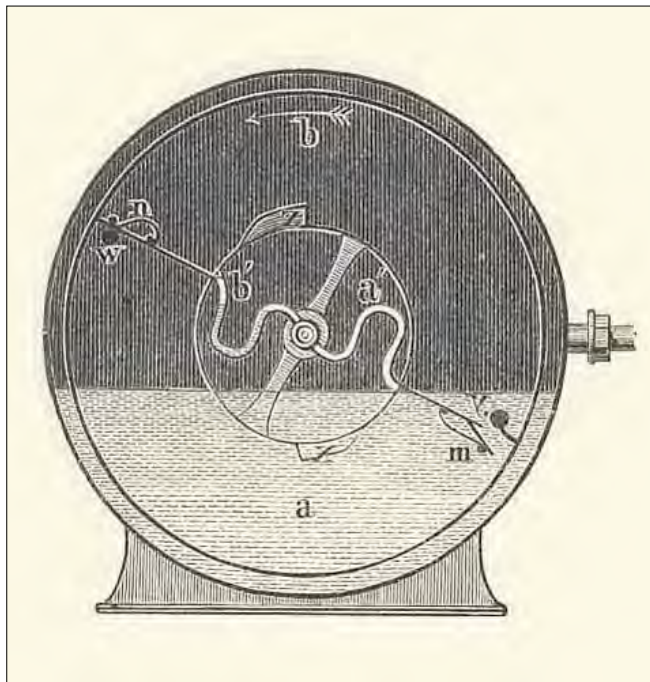
El contador de fábrica tenía por finalidad registrar el volumen de gas fabricado y consignar las variaciones o irregularidades que se podían producir durante el proceso de destilación del carbón. Su uso fue indispensable para poder controlar el correcto funcionamiento de la fábrica, ya que los datos que proporcionaba permitían saber el rendimiento del carbón, las condiciones de funcionamiento de los hornos y la distribución de las cargas. El mínimo retraso o la menor negligencia del fogonero se podían reflejar en los valores registrados en el contador. Además, si se comparaban estos datos mensualmente se podían deducir también las fugas debidas a la canalización.

El mecanismo de funcionamiento del contador de fábrica era similar al de los contadores de abonado por lo que no lo detallaremos aquí, solamente hay que indicar que disponía además de un reloj con un aparato registrador y todas las modificaciones que se le fueron introduciendo se orientaron en la línea de facilitar el control y de asegurar que su funcionamiento fuese durable y regular.

En la figura anterior se han representado dos contadores de fábrica. El de arriba está pensado para fábricas de dimensión media, mientras que el de abajo se recomienda para fábricas mayores.

6.6.2. Contadores de abonado

Antes de la invención de los contadores de abonado, el consumo se medía por la magnitud de la llama y la duración del alumbrado. Es



Contador Clegg (Schilling, 1868: 347).

decir, se medía el volumen aproximado que podía gastar el mechero, alumbrando con una llama de dimensiones fijadas en el contrato, funcionando durante un periodo de tiempo determinado. Pero el resultado era poco exacto para el suministrador e incómodo para el cliente. Para solucionar este problema, en 1815, Samuel Clegg instaló por primera vez un aparato formado por dos campanas que se llenaban y se vaciaban alternativamente y que le permitía saber el gas consumido. No obstante, este artefacto no dio el resultado esperado y al año siguiente ideó otro mucho más práctico. Se trataba de un recipiente cilíndrico dentro del cual había un tambor semisumergido en agua y que estaba dividido en dos comparti-

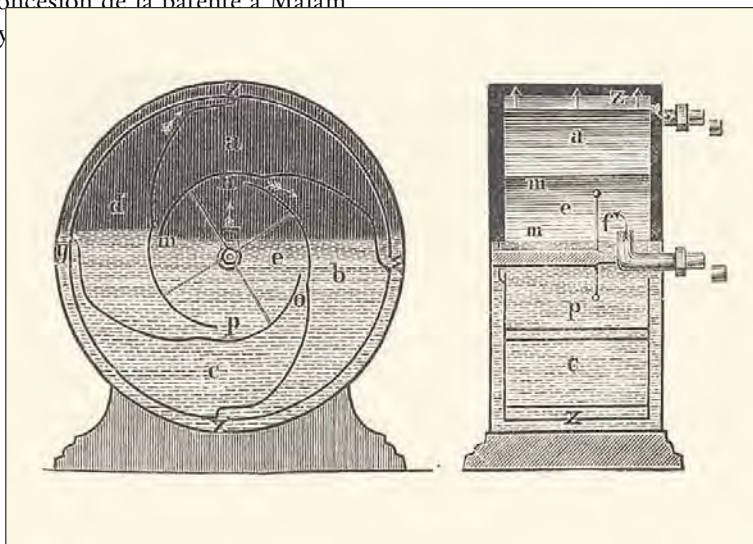
mentos que al llenarse alternativamente de gas lo hacían girar.

Este primer contador, que significaba un gran avance para el control de la producción y consumo de gas, tuvo defectos notorios ya que las válvulas no mantenían la estanqueidad por mucho tiempo y el prensaestopas daba lugar a un rozamiento importante. Estos problemas repercutían en el consumidor final ya que se producían oscilaciones en la llama. Para perfeccionar este aparato John Malam, ingeniero que sustituyó a Clegg en la dirección de la Chartered Gas Company de Londres, patentó en 1819 otro similar que se componía de cuatro cámaras similares y que eliminaba el prensaestopas y las válvulas.

La concesión de la patente a Malam molestó a Clegg quien decía haber planteado soluciones similares en su patente. Su reclamación surtió efecto y se constituyó una comisión para decidir si la concesión de la patente a Malam era oportuna y

Malam era nuevo y por tanto la concesión de la patente había sido correcta y para reafirmarse en lo acordado le otorgó al autor la medalla de oro Isis. Sin embargo, si bien este nuevo contador disminuía el rozamiento, en cambio aumentaba la presión al mover el tambor, de manera que esta se incrementaba o disminuía alrededor de unos 7,5 mm según la posición del tambor. Este hecho también tuvo repercusión en el consumidor final ya que daba lugar a movimientos en la llama. Crosley modificó las oberturas de entrada y salida del gas y con ello redujo estas variaciones de presión a solo 2,5 mm, de manera que se producían unas oscilaciones en la llama casi imperceptibles (Schilling, 1868: 347-354).

Así, el contador que inicialmente había ideado Clegg fue perfeccionándose gracias a las aportaciones de Malam, Crosley, Warner-Corvan, Siry Lizars y otros constructores. En

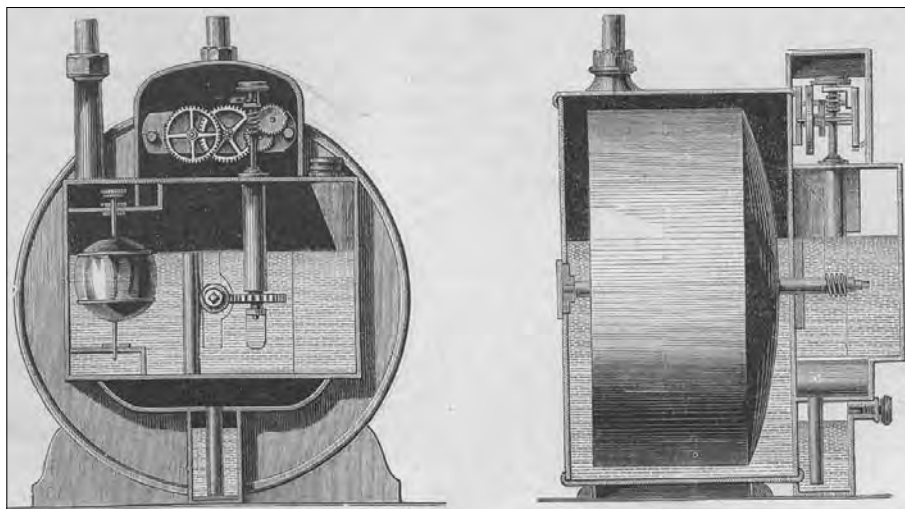


Contador Malam (Schilling, 1868: 348).

líneas generales se componía de un volante o tambor sumergido en agua hasta una altura fija y dividido en cuatro compartimentos estancos que se llenaban y se vaciaban alternativamente. La presión del gas actuaba sobre las paredes de las cámaras produciendo una rotación. Un mecanismo de registro formado por un conjunto de engranajes se encargaba de aprovechar el movimiento de rotación para proporcionar la medida del gas consumido. También disponían los contadores de unos mecanismos para regular el nivel del agua y para cerrar o abrir la admisión del gas.

su utilización, estos contadores requirieron un mantenimiento mensual que consistía en regular el nivel del agua. La práctica habitual del operario era la de poner un poco más de agua cada vez que hacía la revisión, de manera que la primera mitad del mes la medida era a favor de la fábrica y durante la segunda mitad lo era a favor del cliente para compensar.

Todos los esfuerzos se dirigieron desde entonces a buscar sistemas para mantener el nivel del agua constante. Se llegaron a ensayar tres procedimientos diferentes: 1) Llenar con un flotador el espacio que el agua dejaba libre



Sección de un contador (Schilling, 1868: 349).

Una de las características que todo buen contador tenía que cumplir era que el nivel del agua fuese siempre el mismo ya que si disminuía por evaporación, por pérdidas, por inclinación o por procedimientos fraudulentos, entonces el contador medía menos gas del consumido. Por eso, desde el principio de

al evaporarse. 2) Reemplazar el agua evaporada con más agua procedente de un recipiente adjunto. 3) Conseguir que el tambor flotase sobre el agua y se elevase y descendiese con ella. El procedimiento del flotador lo inventó un inglés llamado Sanders y se aplicaba en Berlín. El segundo, del depósito, dio lugar

a diversos mecanismos de introducción del agua debidos a diversos autores como Defries, Esson, Allan, Schäffer y Walcker que se sirvieron de la presión y Scholefield, Siry, Lizars que usaron un sistema de elevación. El contador de tambor flotante fue poco utilizado (Borias,1890: 360-370).

Otro problema que tenía el contador que utilizaba agua era que, si el invierno era muy crudo, se podía congelar el agua y con ello inutilizarlo. Para evitar eso se mezcló con otras sustancias como alcoholes, glicerina u otras soluciones salinas que descendían el punto de congelación hasta casi unos 16° bajo cero. Dada la importancia que jugaba el agua en este tipo de contadores se les denominó contadores húmedos o hidráulicos con respecto a otro tipo de contadores, que no utilizaban líquido, llamados secos.

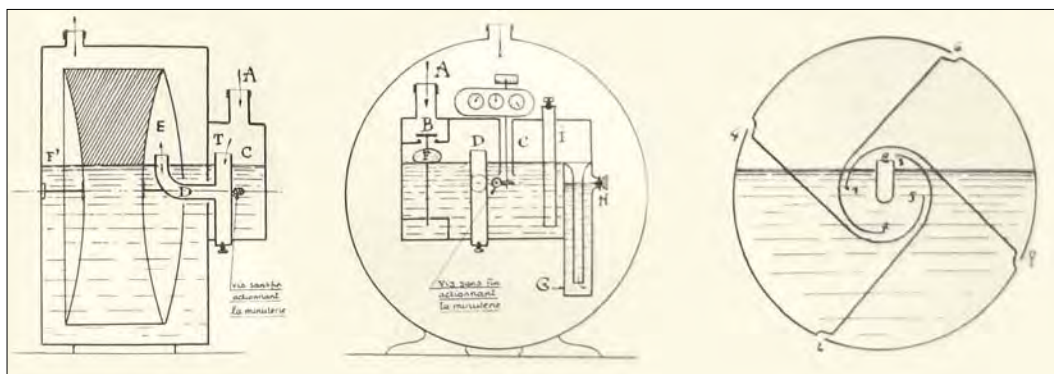
6.7. Los contadores hidráulicos

Explicado esquemáticamente, el funcionamiento de un contador húmedo consiste en llenar y vaciar alternativamente de gas unos

espacios de volumen máximo conocido. Estos espacios son los que forman la división en segmentos que se ha practicado en un tambor vacío y móvil que por la acción del gas gira sobre un eje horizontal. Este tambor está contenido dentro de un cilindro parcialmente lleno de agua y su movimiento se transmite mediante unos engranajes y un tornillo sin fin a unos cuadrantes en donde se registra el consumo de gas.

El gas entraba por el tubo A que estaba en contacto con la caja de válvulas B. Esta válvula B que llevaba un flotador F protegía al suministrador de gas del fraude consistente en retirar del contador un cierto volumen de gas. En este caso el flotador descendía y la válvula cerraba automáticamente la entrada de gas. De ahí, el gas pasaba a la caja cuadrada C y después penetraba por el sifón D al interior del volante.

El volante o cámara de medida del gas era un cilindro dividido en cuatro compartimentos de igual volumen que se llenaban y se vaciaban sucesivamente debido a su rotación. El gas se iba distribuyendo en los compartimentos a través del casquete esférico E del volante y salía por la parte opuesta del contador F en



Contador hidráulico (Mineur, 1922: 52).

la que se hallaba el gas medido. Estas dos aberturas estaban dispuestas de tal manera que cuando una estaba sobre el nivel de agua la otra estaba inundada. De esta manera se impedía que el gas atravesase el volante sin imprimirle una rotación. Las paredes de separación de los compartimentos estaban inclinadas y separadas por la misma abertura para conseguir una corriente de gas uniforme. El volumen dado por una vuelta completa del volante lo verificaba el mismo constructor mediante contadores patrón.

La exactitud del contador dependía del nivel de agua. Si este bajaba, la capacidad de los compartimentos aumentaba y el volumen registrado disminuía recíprocamente. El contador disponía de un sifón que regulaba el exceso de agua, ya que si este superaba el sifón T y entraba en el sifón, la admisión del gas se interrumpía. Dada la importancia de mantener el nivel de agua, el contador disponía de un regulador de nivel que estaba constituido por dos tubos concéntricos, el mayor de los cuales G estaba cerrado por su parte inferior. Este tubo comunicaba con el exterior por un tornillo de nivel H que estaba a disposición del cliente a fin de que pudiese asegurarse en cada instante que un contador estaba bien nivelado. Para introducir agua en el contador se utilizaba el tubo nivelador I que estaba sumergido dentro del agua de la caja de la parte anterior del contador.

El registro del consumo se efectuaba mediante un tornillo sin fin que se encontraba soldado al eje del volante y que engranaba sobre una rueda horizontal soldada en el árbol vertical que conducía a la caja de relojería del contador. Los contadores se clasificaban según su capacidad de medida por el número de mecheros a los que podrían suministrar. Se consideraba que

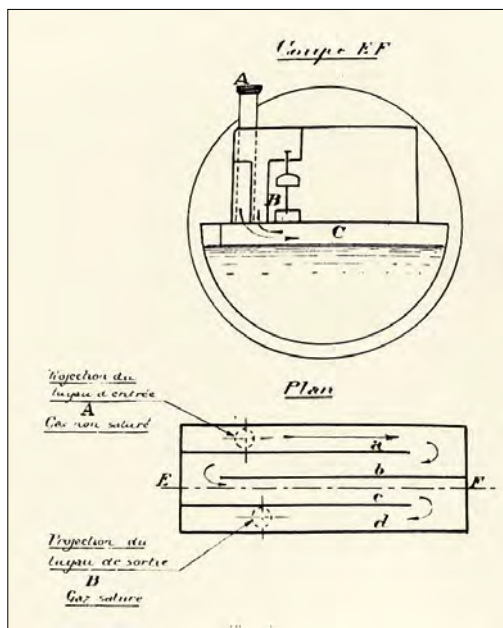
el consumo de un mechero era en promedio de 140 litros/hora. Así, se hablaba de contadores de 5, 10, 20 etc., mecheros. Según eso el dial del reloj que medía los litros estaba dividido en 100 partes de 1 litro cada uno en los contadores de 5 y 10 mecheros, en 200 partes en los 20 mecheros, en 500 divisiones en los de 30 o más.

El gas en su transcurrir por el contador disminuía su presión debido a las pérdidas por rozamiento. Estas pérdidas de carga solían ser en promedio de 2 a 2,5 mm columna de agua en contadores de 5 mecheros. Estas pérdidas aumentaban si el contador se sobrecargaba al hacer girar el tambor a más velocidad de la prevista o por el uso. Un contador de 4 ó 5 años de funcionamiento podía duplicar sus pérdidas de carga.

6.7.1. Tipos de contadores hidráulicos

Los contadores que acabamos de describir eran los ordinarios y fueron el modelo de mayor difusión durante muchos años. Sin embargo, poco a poco se fueron introduciendo mejoras que perseguían asegurar un funcionamiento más regular y al mismo tiempo garantizar la veracidad de la medición. Como ya hemos indicado antes, la exactitud de la medida dependía de la garantía del mantenimiento del nivel del agua. Este nivel podía descender por evaporación y aumentarse por condensación. La evaporación se debía al paso del gas no saturado sobre la superficie del agua tanto en la caja cuadrada como en el volante. Este entraba a 12° aproximadamente y si el agua estaba a la misma temperatura o superior resultaba muy fácil que se llevase una cierta cantidad de vapor consigo en una proporción que dependía de la diferencia de temperaturas

6. El sistema de distribución del gas manufacturado



Contador de nivel constante (Mineur, 1922: 58).

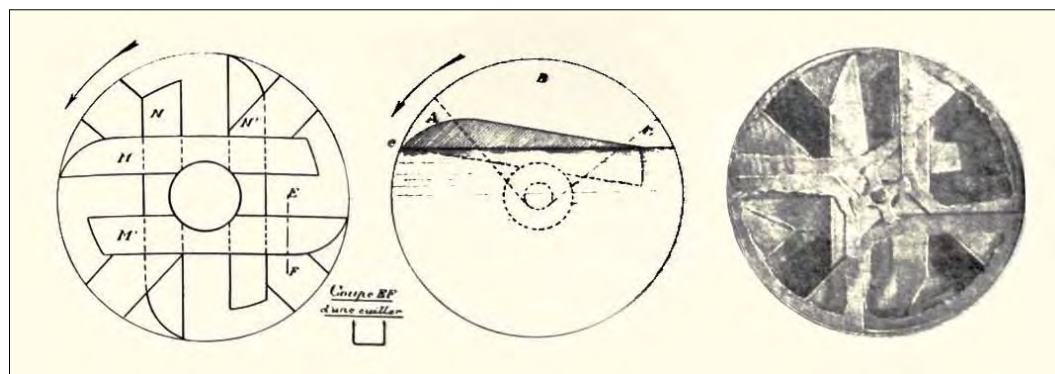
y de la velocidad en que atravesaba el volante. Medida experimentalmente, la evaporación resulta ser de 331 gramos de agua para los

contadores de 5 mecheros y de 135 gramos para los de 60 mecheros. Por eso la evaporación podía ocasionar modificaciones considerables en el nivel del agua mientras que la condensación solía ser excepcional.

Para poder mantener el nivel de agua constante se introdujo un depósito medidor surgiendo así los llamados contadores de nivel constante. Estos eran contadores ordinarios a los que se añadía un depósito cuadrado lleno de agua en la parte anterior, de manera que el gas antes de entrar en el tambor tuviese que atravesar este depósito a fin de saturarse de vapor de agua.

El gas entraba como siempre por A y se veía obligado a seguir por unos canales a, b, c, d dentro de este depósito para irse poco a poco saturando antes de acceder al tambor a través de la válvula B. Este tipo de contadores dio buenos resultados pero posteriormente hubo otros modelos con mejores prestaciones.

Uno de estos fue el contador de medida invariable que se proponía asegurar la medida independientemente de las variaciones del nivel de agua. Constaba de cuatro cangilones en forma de cuchara paralelos dos a dos y situados

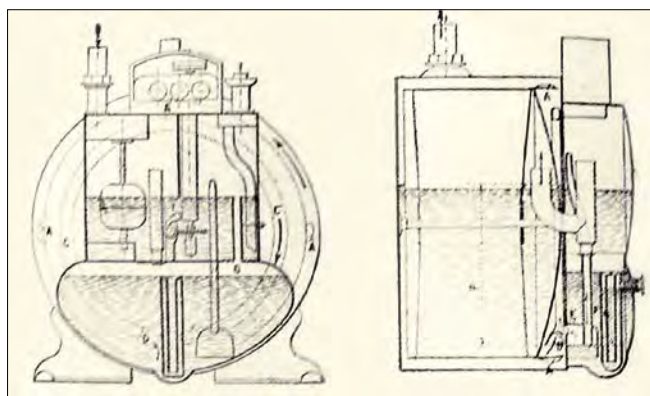


Contador de medida invariable (Mineur, 1922: 59). Volante Siry Lizars (Biard; Grangette, 1926, I: 143).

dos en la parte delantera MM' y dos en el fondo NN'. Cada cuchara retenía un volumen de gas que después vaciaba y era el medido. Con este sistema si el nivel de agua bajaba, la cuchara retenía un volumen mayor de manera que compensaba el error debido al bajo nivel.

Para que la compensación fuese correcta hacía falta que la sección de la cuchara fuese igual a la suma de las superficies sobre las que se producía el descenso del nivel de agua en el compartimento de medida. Este sistema fue aplicado por Siry y Lizars en sus contadores.

Otro sistema para mantener el nivel de agua fue el llamado de compensador o de inyector Dupoy. Consistía en un depósito de agua independiente similar al de los contadores de nivel constante pero equipado con un tubo circular CC' acabado en una campana E abierta hacia abajo, situada en la parte inferior del depósito de reserva de agua. De allí subía un tubo vertical F que por la parte inferior estaba sumergido en la campana y por la parte superior penetraba en la parte delantera del contador.



Contador Dupoy (Biard, Grangette:1926, I, 144).

En el volante se soldaban unos pequeños conos que antes de penetrar en el agua recogían unas bolas de gas que cuando el cono llegaba a la posición inferior penetraban en D y se encaminaban por el tubo C hasta almacenarse en la campana E. Cuando sucedía eso, el agua que había bajo la campana subía por el tubo F hasta la parte superior del contador. Debido a que la presión en D era mayor que la que había en F, el gas pasaba fácilmente de D a E y empujaba el agua hacia arriba por F.

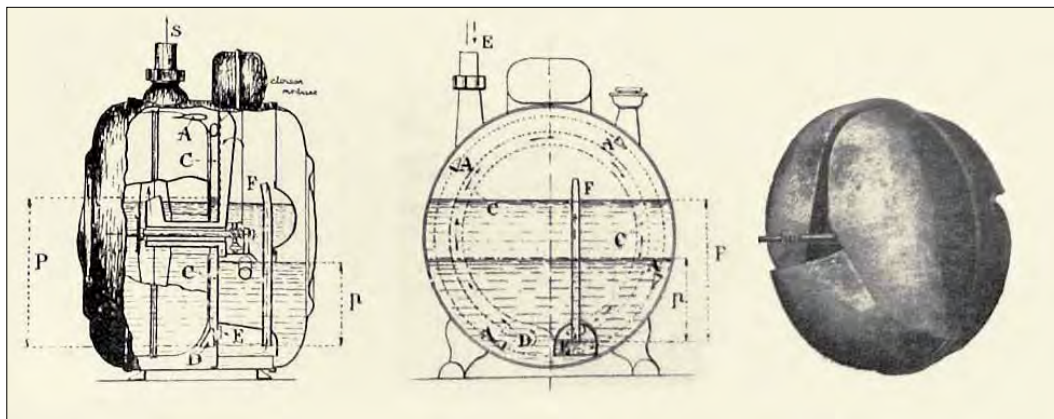
Los sistemas de contadores expuestos hasta aquí proponían soluciones para evitar las variaciones de nivel del agua pero no eliminaban los defectos debidos a la inclinación provocada o accidental de estos aparatos. Los contadores de sistema Duplex solucionaban este problema gracias a la forma peculiar que tenían las aletas del volante. De manera que este giraba más rápido y generaban pérdidas de carga menores. Las tres series de aletas simétricas dejaban un espacio libre que servía de zona de admisión del gas.

La inclinación del contador hacia cualquier sentido aumentaba la capacidad medidora de uno de los dos volantes y disminuía la capacidad del otro. La invariabilidad del nivel estaba asegurada mediante un dispositivo, como el inyector Dupoy, que tomaba el agua de un depósito y la llevaba al de reserva.

6.7.2. Contadores de pago previo

En las primeras décadas del siglo XX se modificaron los contadores hidráulicos de medida invariable para incorporarles un mecanismo que permitía al abonado procurarse el gas mediante la introducción

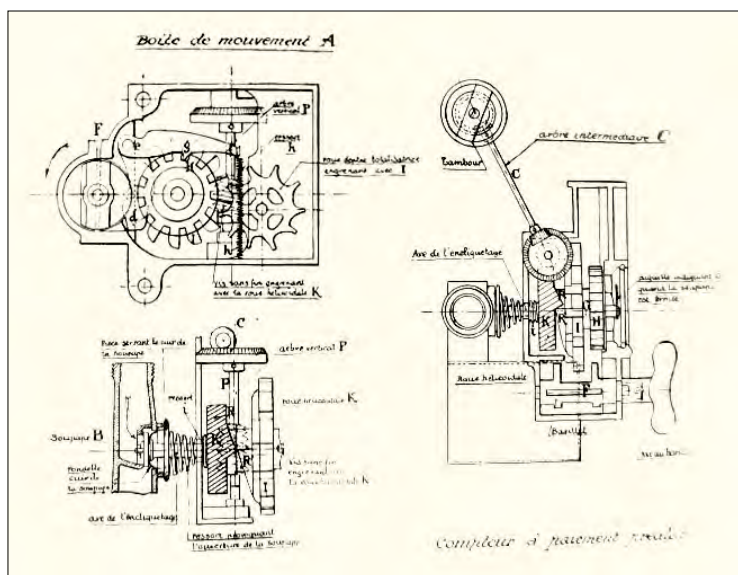
6. El sistema de distribución del gas manufacturado



Contador Duplex con inyector Dupuy (Mineur, 1922: 61). Volante Duplex (Biard; Grangette, 1926: I, 145).

de unas monedas en el contador. Se llamaron contadores de pago previo y sirvieron para facilitar el uso del gas en consumidores donde

resultaba difícil el cobro mensual o en los que no estaban dispuestos a dejar el depósito de garantía que se requería en los otros contadores.



Esquema del contador de pago previo (Mineur, 1922: 64).

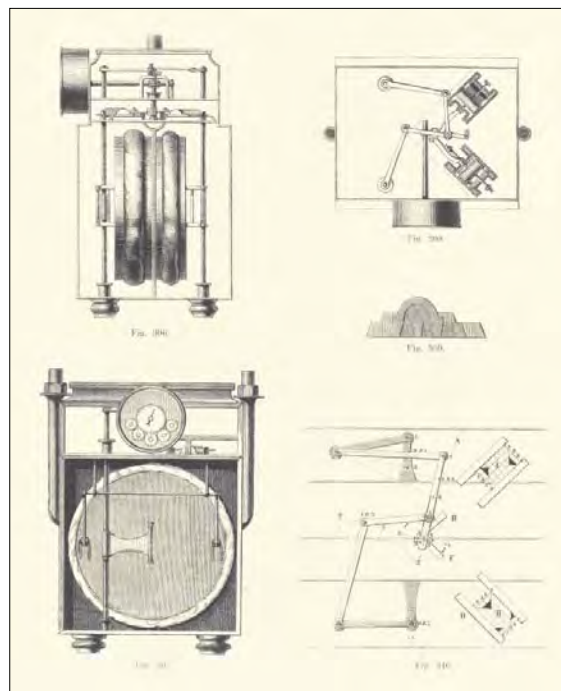
Para el pago con monedas los contadores se equipaban con una caja A, una válvula y un árbol intermedio C que transmitía el movimiento del contador a los órganos de la caja. La válvula abría el dispositivo de la moneda y mientras estaba abierto el gas entraba. El volumen de gas disponible dependía de la cantidad de dinero introducida y después de ser librado, la válvula se cerraba por un mecanismo que la devolvía a su posición inicial. Este sistema se aplicó también a los contadores Siry Lizars y más tarde a los contadores Duplex y a los contadores secos.

6.8. Los contadores secos

Los contadores secos medían el gas recurriendo a dos fuelles de capacidad conocida que se llenaban y se vaciaban alternativamente. La presión del gas se encargaba de producir un movimiento circular con ayuda de unas palancas que accionaban el conjunto de engranajes del equipo de registro (Borias, 1890: 371).

El primer contador seco también se atribuye a John Malam quien lo ideó en 1820 aunque no llegó a construirlo. Hacia 1833 llegó de América un contador de este tipo patentado por un tal Berry, aunque su auténtico inventor había sido un obrero llamado Bogardus. En Inglaterra lo adquirió Edge y pasó a manos de la Dry Meter Company. Se hicieron muchos intentos sin éxito para perfeccionar más este tipo de contador. El dibujo siguiente nos muestra uno que patentó Croll en 1858. Consistía en una cámara cuadrada dividida en dos compartimentos y en medio de cada uno de ellos sendos tabiques de cuero, de manera que de hecho quedaban cuatro cámaras estancas aisladas, dos interiores y dos exteriores. Era

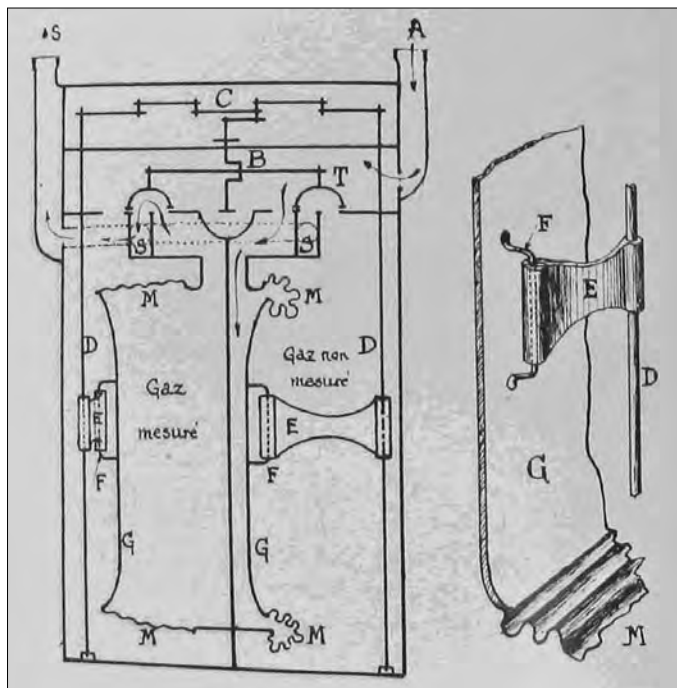
precisamente el movimiento de estos tabiques de cuero al llenarse de gas el que accionaba unos ejes que al girar convertían el movimiento de los tabiques en un movimiento circular que recogía los engranajes del sistema registrador.



Contador seco patentado por Croll
(Schilling, 1868: 355).

A finales del siglo XIX los contadores secos no habían tenido éxito. No se utilizaban en Francia y, a pesar de los perfeccionamientos que se habían hecho en Inglaterra, no habían conseguido implantarlos. La causa se debía a que, cuando el consumo superaba una determinada cantidad, se producían oscilaciones en la llama que molestaban profun-

damente al usuario (Laboulaye 1873: 1217). Sin embargo, como los contadores hidráulicos ocasionaban problemas principalmente en los países fríos, los contadores secos no se descartaron y se fueron perfeccionando.



Esquema de un contador seco (Mineur, 1922: 62).

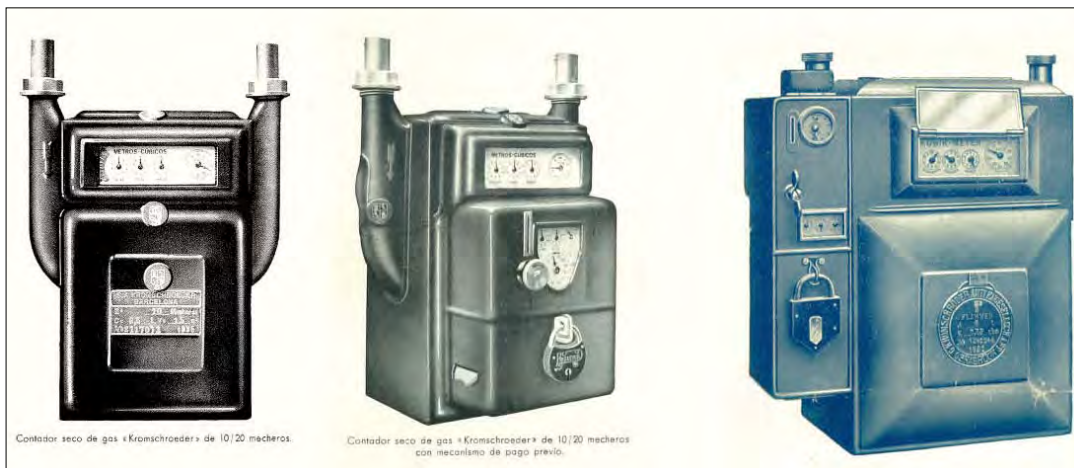
El principio de este contador seguía siendo el mismo y su capacidad medidora dependía de los movimientos de una membrana flexible y estanca que por acción de unos cajones se llenaba y se vaciaba sucesivamente. Una de las ventajas de este contador era que desaparecía el problema de la nivelación que tenían los contadores húmedos. Pero presentaba el inconveniente de

que las membranas, que solían ser de cuero, se alteraban con los cambios de humedad y aumentaban la resistencia pasiva del contador y consecuentemente la presión absorbida. Esta modificación afectaba a las capacidades de medida. En la práctica, el error cometido era del 3% mientras que en los contadores húmedos no pasaba del 1%. Quizás por eso fueron poco utilizados e incluso fue prohibido su uso en París por un decreto de 1871 (Arrêté préfectoral de 20-12 1871). En Inglaterra, en cambio, se utilizaron los contadores secos y se perfeccionaron mediante la lubricación de las membranas (Biard; Grangette: 1926,I, 152).

En 1909 el congreso de gasistas alemanes emitió un informe sobre los contadores en el cual se ponía de manifiesto que se habían hecho avances en cuanto a la utilización de los contadores secos consistentes en el perfeccionamiento de las membranas. Los ensayos realizados tanto con materiales nuevos como con otros antiguos indicaron que el problema no era el material sino la sustancia con que era impregnado para conseguir su total impermeabilización. Por ello esta comisión concluyó que era necesario llevar un control riguroso mediante ensayos de laboratorio sobre los tejidos de esas membranas (Journal, 1910: 24).

Una de las empresas que había apostado por los contadores secos fue la S.A. Kromschroeder que después de la I Guerra Mundial construyó y comercializó unos modelos de alto rendimiento y poco voluminosos que poco a poco fueron adquiriendo cuotas de mercado cada vez mayores hasta llegar a sustituir a los hidráulicos.

Kromschroeder montó una empresa en



Contadores secos Kronschoeder de 10/20 mecheros (Kronschoeder, 1908)
el de la derecha es de pago previo (Illa, 1925).

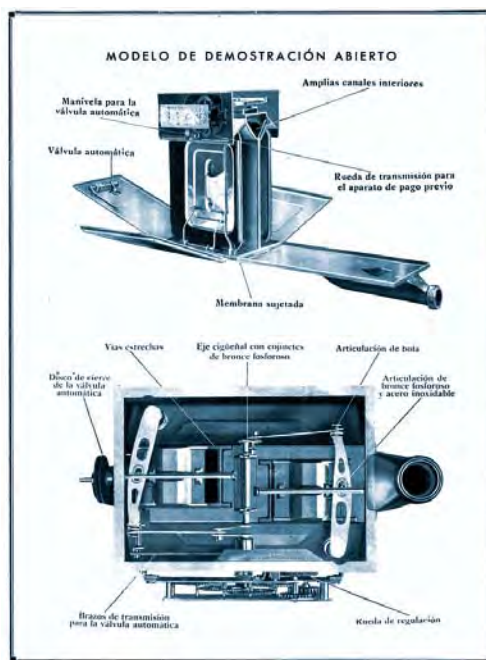
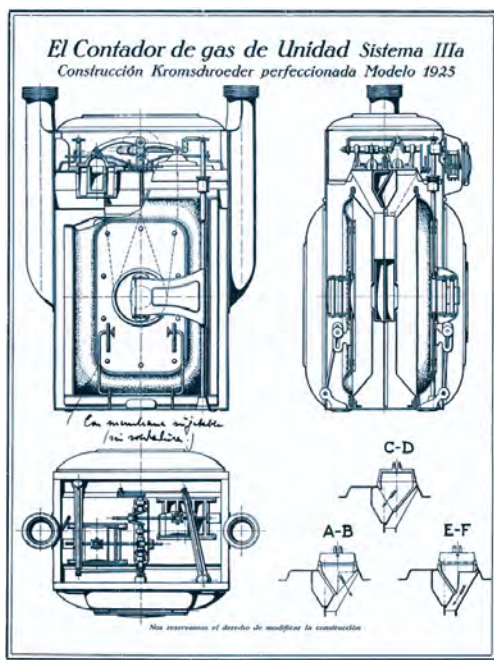
Barcelona en 1908 desde donde comercializó algunos de los nuevos modelos como el 1925 y el 1931. Una de sus principales características era que se cuidaba mucho las membranas. Se seleccionaba el cuero para su fabricación y se examinaba dos veces para vigilar su densidad. Después se untaba siguiendo un procedimiento especial para cerrar los poros y convertirlo en totalmente impermeable y muy flexible. Además, estas membranas no se fijaban mediante soldadura sino que iban a presión. Así conseguían no quemar el cuero por contacto con el soldador caliente y facilitar que pudiese ser desmontado y cambiado sin demasiada dificultad.

Las mejoras también afectaron al juego de articulaciones que transmitían el movimiento de las membranas al registro, las cuales se fabricaron de bronce fosforoso y de acero inoxidable y además se les dio una mayor

extensión de manera que con el mínimo movimiento de la membrana se conseguía una medida muy exacta. Por eso, al ser tan pequeños los movimientos de las membranas, el cuero permanecía completamente liso, sin pliegues y se evitaban los problemas de inflamamiento que afectaban a las membranas que se usaban en los primeros contadores secos.

Otro de los problemas que se solventó fue el de las condensaciones. En los modelos más antiguos, el vapor de agua y de otros productos que llevaba el gas se podía condensar y depositarse en la parte inferior del contador de forma que si estaba en contacto con la membrana producía deterioro en el cuero. Esto se solucionó primero poniendo unas separaciones de papel aceitoso entre la membrana y la superficie inferior de la caja de chapa. Posteriormente esto se pudo mejorar situando las membranas un poco más arriba,

6. El sistema de distribución del gas manufacturado



Vistas del contador seco Kromschroeder (Illa, 1925), (Kromschroeder, 1908).

de manera que no pudiesen estar en contacto con los sedimentos de la condensación. Así se consiguió que después de muchos años de funcionamiento continuasen manteniéndose como nuevas.

La difusión que adquirieron los contadores secos fue considerable y por eso se fabricaron de diversas capacidades desde 10 a 600 mecheros. Uno de los modelos que más aceptación tuvo en el periodo entreguerras y posteriormente fue el de previo pago para el que se adaptaron unos mecanismos autómatas que permitían la apertura de la válvula de paso del gas en el momento que se introducía una moneda. Entonces se ponía en marcha el registro del contador de manera que una vez consumido

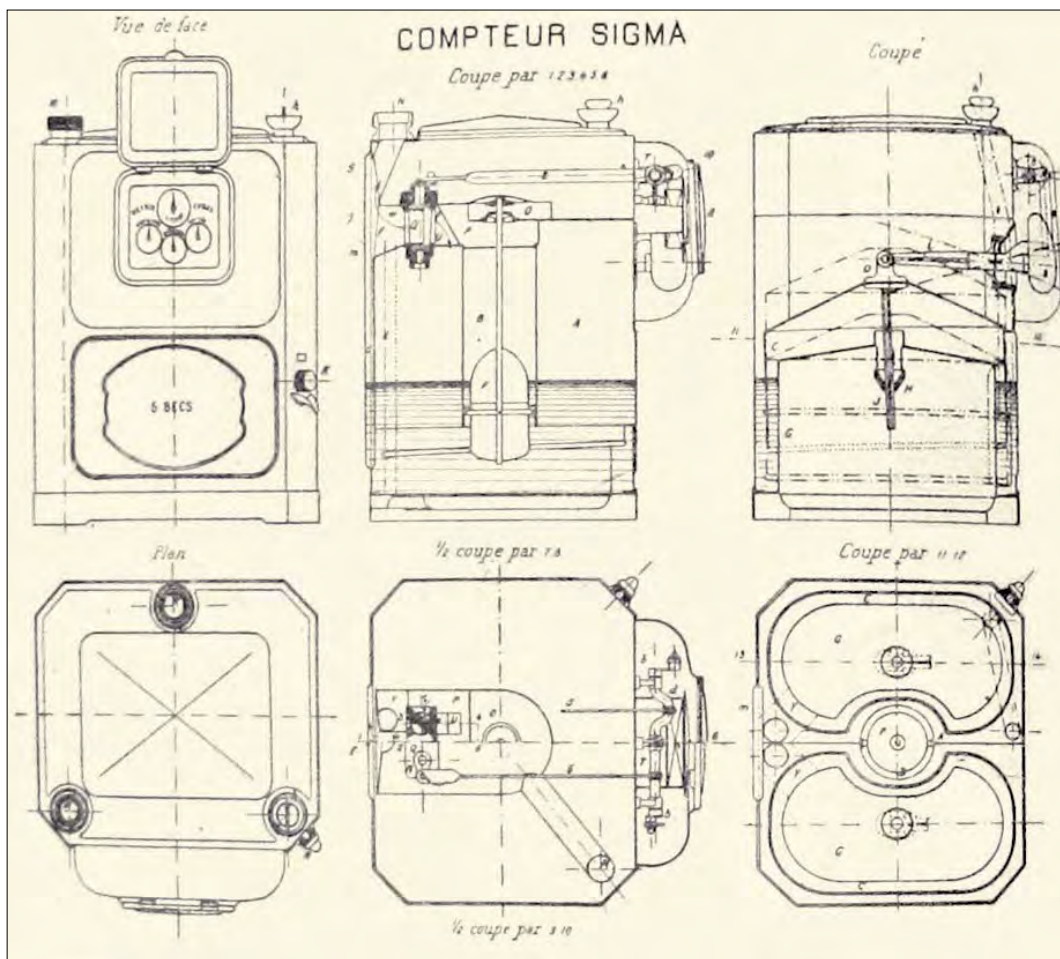
el gas se volvía a cerrar la válvula por impulso de este. Algunos mecanismos permitían la introducción de hasta 22 monedas seguidas, las cuales iba contando a medida que caían y las comparaba con el consumo de gas medido con el contador.

6.9. Los contadores de aceite

Aunque el contador Duplex tenía precisión y seguridad, resultaba oneroso porque requería nivelación periódica. Por ello se pensó en idear un contador que manteniendo las mismas prestaciones pudiese evitar este tipo de dependencia. Este fue el contador de

campanas oscilantes Sigma. Este nuevo tipo se caracterizaba porque el aparato medidor eran dos campanas G sumergidas en un recipiente repleto de aceite mineral. Las campanas se movían verticalmente de manera alternativa dando lugar a dos capacidades.

El gas entraba alternativamente en una campana mientras era expulsado de la otra. El volumen del gas no dependía del nivel de aceite y se mantenía la precisión y constancia de la medida en función de la amplitud del movimiento de cada campana, cosa que se



Contador Sigma (Biard; Granette, 1926. I: 154).

regulaba inicialmente y se mantenía invariable independientemente del caudal y de la inclinación del contador.

El aceite utilizado, que para un contador de 5 mecheros es de 1,5 kg, tenía que ser mineral y no atacar a los metales ni verse afectado por las bajas temperaturas con lo que se evitaba el efecto de las heladas. El nivel de aceite, controlado por un tubo de nivel o por una válvula, una vez regulado permanecía invariable. Sin embargo podría aumentar por las condensaciones de agua, de benzol o de derivados del alquitrán. Sin embargo, este aumento no afecta a la medida, aunque sí al movimiento de las campanas, por ello se recomendaba retirar el exceso de líquido por el orificio K.

Para capacidades iguales estos contadores ocupaban un volumen menor y comportaban menores pérdidas de carga. Del contador Sigma se fabricaban hacia 1920 de 5, 10 y 20 mecheros y la Prefectura del Sena había admitido su implantación en los barrios de los alrededores de París.

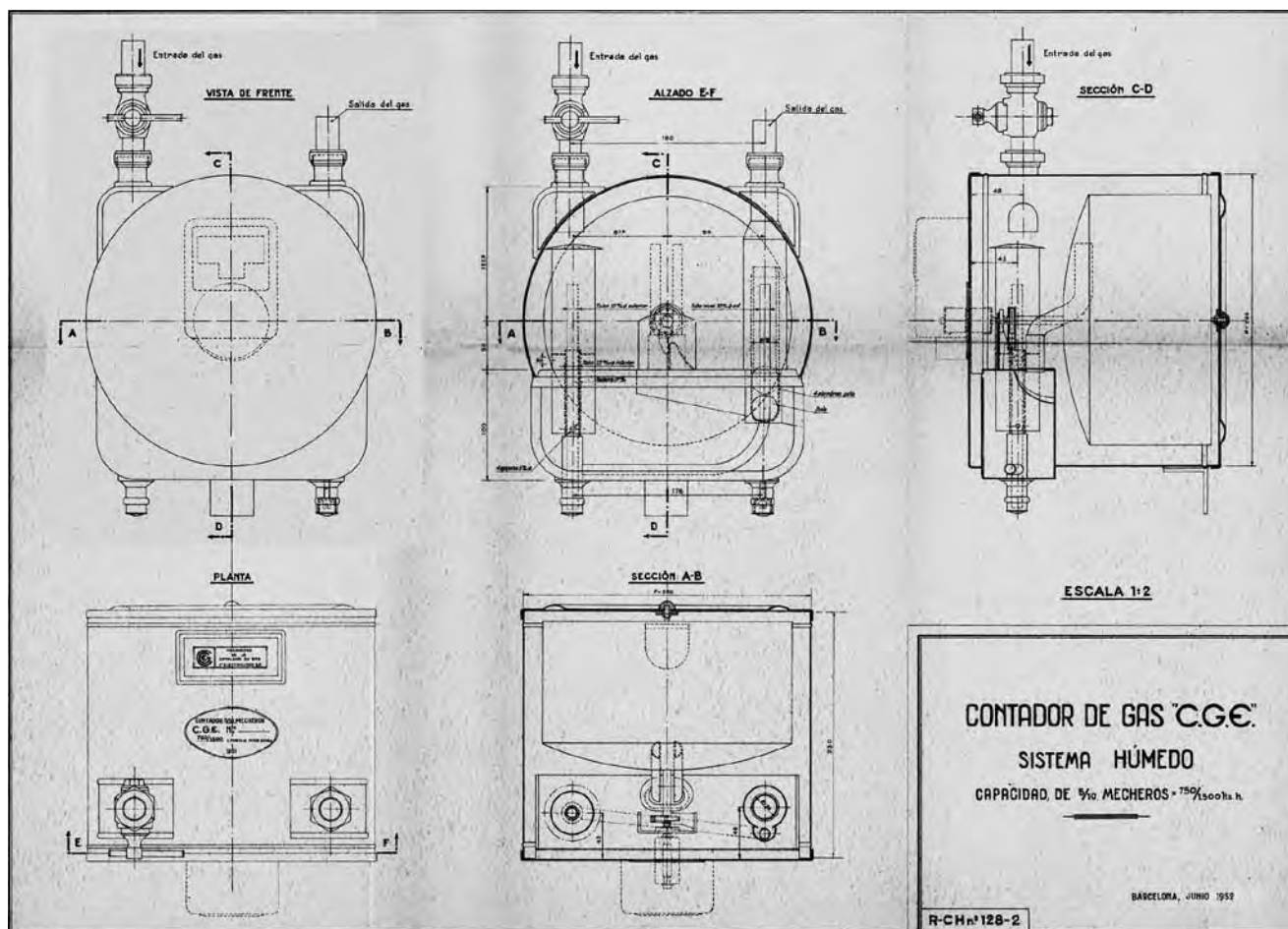
6.10. El contador de Catalana de Gas

Después de la guerra civil española (1936-1939), las zonas de España que habían estado gasificadas anteriormente se encontraron con enormes dificultades para afrontar el suministro. La escasez de carbón ocasionó que el gas producido fuese de un poder calorífico muy inferior al que se había distribuido anteriormente y que además la presión de las redes de distribución fuese muy baja. Tan grave era esta situación que en algunos puntos de consumo, la baja presión a la que llegaba el gas hacía inservibles los tradicionales

contadores de agua. Tampoco funcionaban bien los contadores secos ya que en la práctica ocurría que sus pérdidas de carga eran más grandes de las esperadas debido a que el nuevo gas distribuido era más denso. Además si las presiones de arranque no superaban los 5 mm de columna de agua, los contadores no se podían poner en marcha. En consecuencia, las ventajas que se esperaban de los contadores secos, como su capacidad de medición, su medida reducida, sus pérdidas de carga pequeñas y la supresión del servicio periódico de nivelación, no se cumplían en la práctica si las circunstancias eran adversas.

Además, la mala depuración del gas, ocasionada por el mal estado de algunas instalaciones y principalmente por la deficiente calidad de los materiales utilizados como combustible, daba lugar a que se depositasen impurezas en las partes más delicadas de los contadores que solían ser las válvulas y mecanismos de distribución del gas hacia su interior. También les afectaba la condensación del vapor de agua que acompañaba el gas, de forma que los contadores se estropeaban dejando pasar el gas sin registrar el consumo o impidiendo el paso de este.

Estas circunstancias propiciaron que se buscasen soluciones para obtener un nuevo contador que aprovechara las ventajas del hidráulico y redujese al mínimo tiempo sus inconvenientes, que era su gran volumen en comparación con su capacidad. Precisamente su volumen era lo que impedía que se pudiese colocar un contador hidráulico en sustitución de uno seco. El otro inconveniente era la nivelación periódica de los hidráulicos, ya que si no se hacía a tiempo, el exceso de agua podía bloquear el paso de gas o si había falta de agua, entonces, podía dejar pasar el gas sin anotarlo.



Plano del contador CGE (AHFGNE, caja 589).

La solución pensada inicialmente consistía en un contador hidráulico en el cual el líquido fuese una mezcla de gasoil y de agua. En la proporción de 1 ó 2 a 7. De esta manera el agua pasaría al fondo y quedaría el gasoil en la superficie. Así se conseguiría disminuir considerablemente la evaporación y además el contador resultante tendría para las mismas

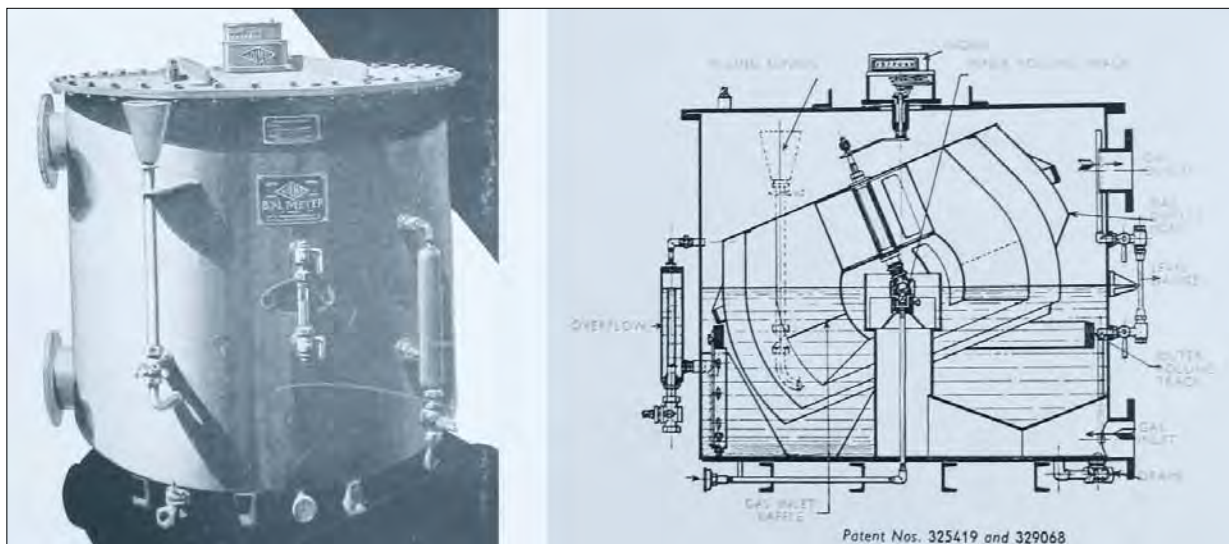
dimensiones hasta cinco veces más capacidad.

Finalmente en 1951, Catalana de Gas construyó un contador nuevo que recogiese las ventajas del hidráulico y del seco y obviase los inconvenientes. Se trataba de un contador de 3 mecheros que se nivelaba únicamente con gasoil, de manera que no había pérdidas por

6. El sistema de distribución del gas manufacturado

Este primer modelo de 1951 fue perfeccionándose a lo largo del año siguiente princi-

A finales de 1951 se remitió la documentación necesaria al Registro General de Patentes para solicitar el registro de este aparato como modelo de utilidad, cosa que se consiguió



Contadores de fabricación B.M. de la casa Holmes Huddersfield, nivelado con gasoil (Holmes, s/f: 2).

(nº 28.530, resolución nº 59267) y se enviaron dos prototipos de contadores de 5 y 10 mecheros con dos latas de gasoil al Ministerio de Industria para conseguir la aprobación oficial. El Ministerio lo remitió a la Comisión Permanente de Pesas y Medidas para su estudio y este organismo pidió un informe técnico a la Escuela Especial de Ingenieros Industriales de Madrid y a la empresa CAMPSA, que en ese momento detentaba el monopolio del sector petrolero español, para que informasen sobre los inconvenientes y ventajas que presentaba el uso del gasoil. La respuesta se resumía en esta frase: “Parece ser que surgen dificultades al indicar que el gasoil puede desprender gases a temperaturas superiores a los 85 °C, temperatura que jamás puede alcanzar un contador y que en todo caso al mezclarse con el gas mismo no pueden ser perjudiciales por no tener que quedar nunca libres ni aquellos ni éste”.¹

La Catalana hizo diversas pruebas con diferentes líquidos niveladores llegando a la conclusión de que para poder utilizar gasoil había que probar que no generaba peligro. Se pensó que podían suceder dos circunstancias: que algún producto que acompañase el gasoil fuese arrastrado por el gas en su paso a través, o que algún compuesto del gas se disolviese en el gasoil. Aunque, gas y gasoil son productos inflamables, la mezcla con otros componentes solo es perjudicial por el hecho de disminuir su poder calorífico.

Se hicieron ensayos en las condiciones más desfavorables, que son a temperatura de 85°, en la cual el gasoil desprende compuestos volátiles. La conclusión fue que el gasoil resultaba ser mejor líquido nivelador que el aceite que era utilizado en los contadores de la casa Sigma. Esta precisión

se mantenía tanto si el gas estaba desbenzolado como si no. Se advertía, sin embargo, que en caso de llegarse a temperaturas de 85° se presentaba peligro de detonación pero que este era menor incluso que si se utilizaba aceite o agua. La mayor ventaja era que el gasoil no se evaporaba y tenía una menor viscosidad que el aceite y un punto de congelación mucho más bajo (-20°C) que el agua.

El Informe remitido por la Delegación de Industria indicaba todas estas conclusiones y añadía que no era una novedad, ya que desde hacía unos años se utilizaba el gasoil mezclado con el agua en las nivelaciones, y además en Inglaterra la firma W.C. Holmes &C., fabricaba desde 1930 un modelo de contador de fabricación que utilizaba gasoil. Estos contadores, llamados BM, que medían capacidades de 4.880 millones de metros cúbicos de gas, estaban instalados en las principales fábricas inglesas y se exportaban a muchos países del mundo.

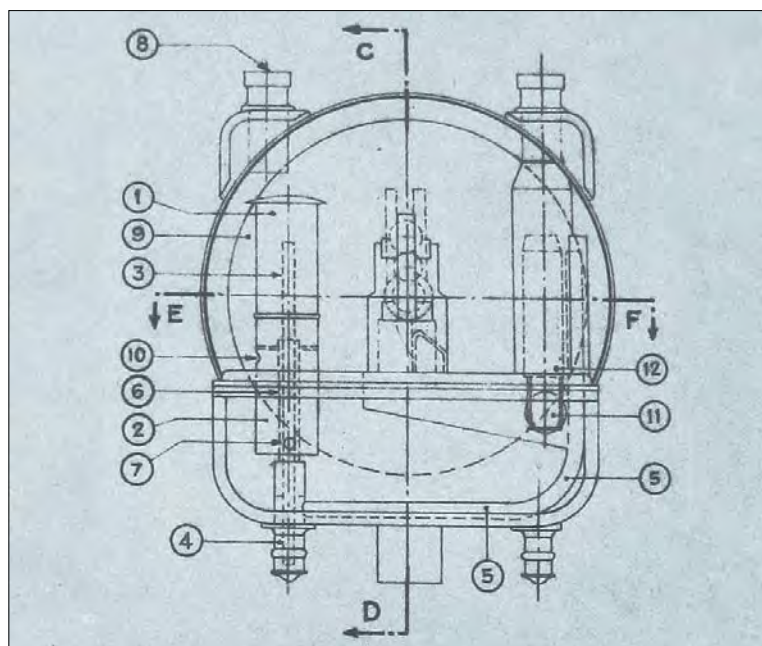
La singularidad del contador de gasoil de Catalana, que denominaremos contador CGE, es que no era de fabricación, como los ingleses, sino de usuario. En 1954 se introdujeron los modelos de 5 y 10 mecheros que daban una capacidad máxima de 2,5 m³/h de gas por lo que solo se podían instalar en los abonados que utilizaban el gas únicamente en sus cocinas. Pero si además querían ampliar su uso a un calentador de agua, el contador les resultaba pequeño. Por ello se pensó en incrementar el diámetro del volante para aumentar su capacidad sin variar su estructura. En este sentido se construyó uno de 20 mm de diámetro con lo que se ampliaba la capacidad hasta 23 mecheros. Posteriormente se hicieron pruebas y el resultado fue satisfactorio pudiendo ser

¹ Nota sobre los trámites con el Ministerio. 12-07-1952. Archivo Histórico Fundación Gas Natural Fenosa, caja 589.

instalado en los domicilios con consumos mayores. El esquema siguiente muestra como tenía lugar el proceso de nivelación del contador de gasoil o CGE.²

Para nivelar el contador se pone líquido en el tubo de entrada del gas (8) que pasa a la cámara (9) y de allí a través del agujero (10) practicado en la parte superior de la cámara (2) desciende a la parte baja de esta cámara, pasando a través de los agujeros (7) y remontando por la conducción

que forman los tubos (6) y (3) llena la cámara (1) hasta llegar al nivel superior del tubo (3) desde donde desciende por (5) para ir a parar a la bolsa recolectora de líquido. El contador tiene un dispositivo de válvula que asegura que no puede dar gas sin registrarlo una vez sobrepasada una cierta capacidad. El dispositivo está formado por una válvula de bola (11) que sube por acción del líquido arrastrado por el gas, cuando el consumo sobrepasa un cierto



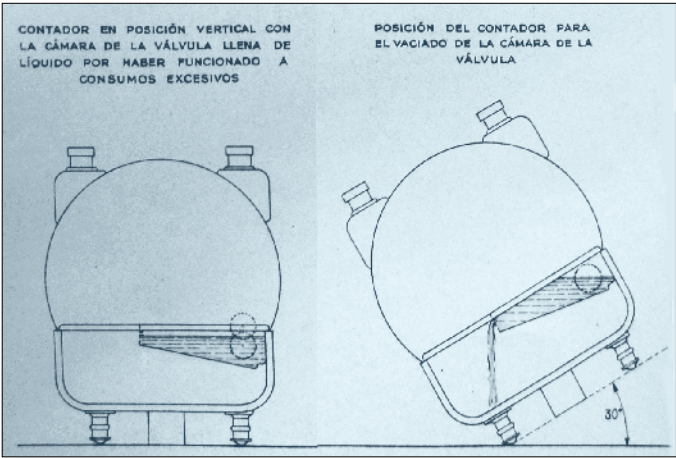
Esquema del contador CGE (AHFGNF, caja 589).

(1) y (2) dispositivo de nivelación formado por dos cámaras cilíndricas superpuestas. La primera está abierta por la parte superior y no se comunican entre sí. (3) Tubo que comunica con la parte interior de la cámara (1) y que acaba en el pie (4) del contador. Este tubo está en comunicación con otro (5) que sirve para fijar el nivel del líquido. (6) Otro tubo que envuelve la parte del tubo (3) que queda en el interior de la cámara (1); los agujeros (7) previstos en la parte baja del tubo (6) establecen comunicación entre la cámara (2) y la conducción tubular formada por los tubos concéntricos (6) y (3).

² Notas sobre el contador CGE. 25-05-1955. Archivo Histórico Fundación Gas Natural Fenosa, caja 589.

límite (unos 3 m³/h). Entonces se obtura en parte la conducción (12) con lo que se reduce el consumo de gas hasta unos límites en los que no se verifica el arrastre de líquido (1,2 a 1,5 m³/h); de esta manera se evita que las pérdidas de líquido ocasionen que el contador se desnivele. Si la válvula ha funcionado porque ha habido consumos superiores a la capacidad del contador y se ha cerrado el paso del gas, para normalizar el servicio, hay que desempalmar el contador de la instalación e inclinarlo hacia la izquierda, un ángulo de 30° para vaciar el gasoil que se había depositado en la cámara donde está la válvula y con esto vuelve a quedar la bola en su posición primitiva.

Entonces el gasoil pasa a la bolsa recolectora de líquido y sale por el agujero de vaciado de la misma, volviendo a introducirse en el interior del contador por el tubo de entrada de gas. Los contadores de Catalana o CGE tenían las características que se resumen en el cuadro siguiente:



Esquema de vaciado del contador (AHFGNF, caja 589).

Además los usuarios que tenían el contador en propiedad se quejaban de que las reparaciones les costaban muy caras, ya que por termino medio se tenía que afrontar una reparación

Cuadro 6.4. Características de los contadores de gas

Consumo		Pérdida de carga en mm cda.
Mecheros	Litros/hora	
3	420	1
5	700	1,5
10	1400	4

Fuente: Archivo Histórico Fundación Gas Natural Fenosa, caja 589.

En 1960, un informe del ingeniero jefe del servicio exterior de Catalana de Gas ponía de manifiesto que el alquiler de los contadores no resultaba rentable. Explicaba que hasta 11 mecheros se pagaba 4,75 ptas al mes y que de 11 a 26 mecheros subía a 7 ptas al mes.

cada cinco años, pero en bastantes ocasiones se debían reparar solo a los dos años de servicio. Como consecuencia de esta situación, un número considerable de usuarios optaba por pasarse al butano. El informe afirmaba que aun “aceptando un término medio de siete

años y medio y un valor de la reparación de 750 pesetas, correspondería a unas 100 pesetas anuales de reparación, cosa que explica la no rentabilidad de los contadores en régimen de alquiler, aun en el caso de los contadores CGE actuales” es decir, los de gasoil que a pesar del poco tiempo que llevan en servicio de los 2000 contadores se han tenido que reparar unos 30.

Para dar respuesta a esta situación se pensó en proyectar una variante de contador CGE en la cual la carcasa exterior fuese de aluminio y la bolsa de líquido de una aleación de aluminio y sílice conocida como silumín o alpax. Carcasa y bolsa estarían unidas por una unión de caucho que facilitaría una reparación en menos de una hora y tendría una duración ilimitada. Otra modificación propuesta consistía en modificar el sifón para permitir aumentar la capacidad de uno a dos mecheros. Así, si el actual contador de 5 ó 10 mecheros, del cual se cobra 4,75 pesetas de alquiler al mes, se pudiese aumentar su capacidad de 2 m³/h (que equivaldría a 14 mecheros) se podría cobrar 7 pesetas al mes y el problema estaría resuelto.

Esta propuesta cuajó, y Catalana pidió ofertas a diversos talleres de Barcelona sobre el coste de construcción de este nuevo contador CGE de aluminio. Los Talleres Tomás propusieron un contador cuyo coste sería de 1.030 pesetas puesto por camión en el almacén frente a las 1.252,45 pesetas que costaban los contadores del modelo anterior. La oferta fue aceptada y se hizo un encargo de 10.000 contadores CGE de aluminio con la condición de que se entregasen mensualmente a razón de 800. Este pedido se basó en las ventas de los años 1960 y 1961. En 1960 se habían vendido 3.542 contadores CGE de 5 ó 10 mecheros y 670 de 10 ó 20 mecheros y se habían instalado de alquiler 5.160. De ahí las previsiones de 1961 (3.500 de compra y 6.000 de alquiler) y la justificación de la cantidad encargada.

En 1961, después de unos seis años de funcionamiento de algunos contadores CGE se redactó un informe comparativo entre los diferentes contadores que había en el mercado en Barcelona, que se resume en el cuadro siguiente:

Cuadro 6.5. Porcentaje de contadores cambiados

	En 1935	En 1960
Hidráulicos	15,35	3,60
Sigma	8,53	25,60
Kromschroeder	16,71	29,70
C.G.E.	--	1

Fuente: Archivo Histórico Fundación Gas Natural Fenosa, caja. 590.

La conclusión del informe es muy clara: “Mientras no se pueda suministrar gas en condiciones normales como antes de la guerra, no es aconsejable utilizar contadores Kromschroeder, que en todo caso deberían ser de 25/50 mecheros, nunca de 10/20 mecheros. Entretanto son aconsejables los CGE de 2m³/h con carcasa de silumín, y para más adelante comprobar el comportamiento de los contadores secos de nuevo tipo, también de aluminio, con los que se logrará que aun a igualdad de reparaciones, los de este último reduzcan su coste a la mitad”.³

Las previsiones apuntaban a que el suministro de gas se normalizaría a partir de 1963, pero que incluso entonces los contadores CGE servirían perfectamente si se cambiaba el gas manufacturado por gas natural. Los contadores secos de membrana de piel tendrían que cambiarse por otros de caucho sintético u otros productos. Esto, sin embargo, no fue así y la introducción del gas natural volvió a introducir los contadores secos que son los que se usan actualmente.



Contador de gas CGE con carcasa de fundición (AHFGNF).



Contador de gas CGE con carcasa de aluminio (AHFGNF).

³ Informe sobre contadores de gas. Mayo 1961, Archivo Histórico Fundación Gas Natural Fenosa, caja 590.

7. Utilización del gas manufacturado

Desde el mismo momento en que dispuso de gas, el ser humano imaginó maneras de utilizarlo. Su poder lumínico y calorífico sugirió dos usos importantes, la producción de luz y de calor. Estas fueron las dos aplicaciones principales del gas en el ámbito doméstico, tan importantes que modificaron los hábitos de las personas: iluminarse de noche, cocinar, calentarse en invierno y bañarse con agua caliente resultaron más fáciles con el uso del gas. No obstante, hubo otra aplicación en la que el gas pudo introducirse con menos dificultad que fue la industria. En este capítulo se profundiza en los usos del gas en estos ámbitos desde los inicios hasta las primeras décadas del siglo XX. Dedicamos un extenso apartado a los diferentes mecheros que facilitaron la competencia del gas con la electricidad en el campo de la iluminación tanto pública como privada. También estudiamos después los usos de gas en las cocinas, en la calefacción, y en la producción de agua caliente sanitaria. Finalmente hacemos una mención breve de las aplicaciones industriales para poner de relieve su importancia, conscientes que un estudio más profundo requeriría de una extensión de la que no se dispone en este libro.

7.1. La iluminación con gas

El ser humano, desde los orígenes de la humanidad, ha tenido necesidad de iluminarse

en las noches oscuras de invierno. El descubrimiento del fuego fue un primer paso importante para satisfacer esta necesidad. Sin embargo, el primer instrumento de iluminación fue la lámpara de aceite o candil que fue casi el único sistema de alumbrado hasta el siglo XVII. La aparición del gas significó un gran cambio en cuanto a la facilidad de suministro y la economía de producción. Las calles iluminadas con gas resultaron más seguras y los trabajos en horas nocturnas permitieron alargar las jornadas laborales en las industrias y comercios. Surgía una nueva etapa de la humanidad aparentemente mucho menos condicionada por la naturaleza.

7.1.1. Antecedentes de la iluminación

En Europa, desde la Edad Media, las lámparas de aceite rivalizaron con las candelas formadas por una mecha rodeada de grasa o cera. Estas eran más caras pero no requerían la atención continuada de las lámparas de aceite que había que llenarlas, cortar y subir la mecha o limpiarlas. Entre las candelas, la más cara era la vela o cirio de cera que estaba reservada a las clases altas o a los cultos religiosos.

En las últimas décadas del siglo XVIII, Joseph Louis Proust (1754-1826) inventó una lámpara de nivel constante que tenía un recipiente lateral para facilitar la llegada del aceite al mechero de

manera regular. François Pierre Aimé Argand (1755-1803) patentó en 1782 un mechero de doble corriente de aire cuya mecha cilíndrica en forma de tubo permitía el paso del oxígeno tanto hacia el interior como al exterior de la llama. Además, añadía una chimenea de vidrio para canalizar el aire alrededor de la llama y asegurar el tiro. Ambroise Bonaventure Lange modificó la chimenea tubular dándole una forma de bulbo, de manera que se aumentaba el tiro gracias al estrangulamiento del tubo al nivel de la llama, y el boticario Antoine Quinquet (1745-1803), socio de Lange, juntó estos inventos hacia 1784 y vendió la lámpara con su nombre, cosa que irritó a Argand quien lo demandó sin demasiado éxito, ya que la popularidad que adquirió este tipo de lámparas dio lugar a que el nombre de quinqué fuese utilizado como nombre común para designarlas.

Hacia 1800, Guillaume Carcel equipó una lámpara con un sistema de relojería para facilitar la subida del aceite de manera regular hasta el mechero. Guillaume Carcel (1750-1812) era un relojero de París que ideó ese mecanismo de relojería para aplicarlo a una lámpara de mechero Argand, de manera que, moviendo una bomba aspirante de pistón, hacía subir el aceite hasta la mecha produciendo una circulación de este. El aceite enfriaba el mechero e impedía que una parte de la mecha se consumiese produciendo vapores irritantes que perjudicaban la combustión. El invento fue tan importante que dio lugar a una unidad de medida de la intensidad lumínica, el Carcel. Se trataba de la intensidad producida por una lámpara Carcel provista de un mechero de 12 mm de diámetro que quemaba 42 g de aceite de colza por hora. Un Carcel equivalía a 9,74 candelas (Figuier, 1873: 32).

Si el uso de velas resultaba caro porque no todo material graso era apto. Para el alumbrado por gas cualquier materia podía ser quemada con la sola condición de que proporcionase un gas con un poder lumínico aceptable. Esa posibilidad de utilizar materias poco costosas y la facilidad del gas para ser distribuido, fueron suficientes para que este invento sustituyese a los anteriores. La iluminación por gas nació de una idea simple y se acabó convirtiendo en un invento de una amplia difusión y de una trascendencia enorme por la modificación de los hábitos de los seres humanos que comportó (Shelling, 1868: 4).

La cantidad de luz producida por la quema del gas dependía de su composición, de la forma del quemador y de la velocidad de salida. Entre los componentes del gas, la proporción de hidrocarburos que contenía resultaba beneficiosa para aumentar el poder lumínico. Cuando el gas se quemaba en contacto con el aire, el hidrógeno, el metano y el monóxido de carbono se combinaban con el oxígeno produciendo vapor de agua y anhídrido carbónico. La llama era poco luminosa aunque fuese cálida y era suficiente para descomponer los hidrocarburos de manera que se liberaba el carbono, el cual se ponía incandescente en la periferia de la llama y aumentaba su luminosidad. De todo esto se dedujo que para obtener una buena iluminación se requería combinar bien el gas combustible con el oxígeno. Por ello se recomendó el uso de mecheros mariposa o de mecheros cilíndricos como el Argand.

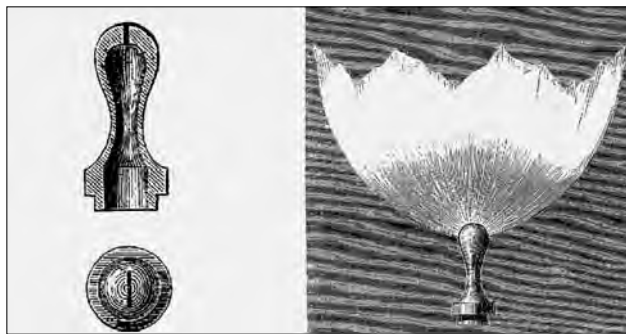
También influyó en la combustión la presión del gas que, al aumentarse, daba lugar a un incremento de la velocidad de formación de la mezcla combustible. Una presión alta producía mayor velocidad del gas y ocasionaba

una combustión precipitada del carbono perjudicando la luminosidad de la llama. Por eso resultaba recomendable reducir la velocidad de salida del gas en los quemadores mediante una llave reguladora (Marechal, 1894: 34).

7.1.2. Los primeros mecheros

El mechero o boquilla de los aparatos de alumbrado por gas era el lugar donde se producía la combustión, al combinarse el gas con el oxígeno del aire. Sin embargo, el nombre de mechero, derivado de mecha, provenía precisamente de los candiles o de las velas, ya que era el lugar donde se depositaba esta. Los primeros mecheros de gas eran de chorro único, y los más difundidos fueron el llamado de mariposa o el de tipo Manchester. Posteriormente se utilizaron mecheros de chorro múltiple entre los que destacaron los de tipo Argand, Dumas, Bengel o el conocido como mechero cuatro de septiembre.

El mechero de chorro único se caracterizaba porque el gas se escapaba por una grieta o abertura de dimensión variable y que daba lugar a una llama de forma diversa en función de la forma de la grieta que podía ser de abanico, de cresta de gallo, de ala de murciélago o simplemente alargada como la llama de una vela. No obstante, este mechero en su interior tenía forma de canutillo cilíndrico acabado en un casquete esférico en donde se practicaba la grieta transversal a través de la cual salía el gas. La llama producida tomaba la forma de un abanico o mariposa, de ahí el nombre del mechero más utilizado.



Mechero de abanico o mariposa (Figuier: 1873: 156).

La dimensión y anchura de la grieta modificaba el poder lumínico de manera que a medida que esta aumentaba, la presión del gas disminuía y la llama iluminaba mejor. En consecuencia, para que el gas quemase eficazmente se requería una presión débil y una grieta en el mechero lo más larga posible para garantizar una llama fija y de forma apropiada (Audouin, 1862: 423).

El mechero mariposa fue el más utilizado en las calles de París. Estaba formado por un pequeño tubo de hierro de 4,5 mm de diámetro interior y acababa en un botón con una grieta de no más de 0,6 mm de ancho. Gastaba 140 litros/hora y conseguía su máximo rendimiento cuando la grieta era de 0,7 mm y el gas se escapaba a una presión de 2 a 3 mm columna de agua. Si en la práctica se utilizó la grieta de 0,6 mm era para conseguir una llama más tensa que fuese capaz de resistir las corrientes de aire para lo cual se aumentó la presión a 3,5 mm columna de agua. Para reducir la cantidad de gas que salía por la grieta se dispuso una llave de paso o en algunos casos un regulador. Si se cumplían las condiciones antes especificadas la llama que se obtenía era de 7 cm de anchura y

6 cm de altura. Excepcionalmente se instalaron mecheros mariposa de 100 litros/hora que producían una llama más pequeña, de 5 cm de ancho por 4 de alto (Marechal, 1894: 90).

El otro mechero simple era el conocido como Manchester que se componía de un tubo hueco de fundición por cuyos extremos salía el gas. Estos se disponían inclinados uno frente al otro de manera que los dos chorros de gas que afloraban por cada extremo chocaban al salir. El choque que resultaba producía un aplanamiento de la llama que se extendía en un plano perpendicular a los orificios de salida.



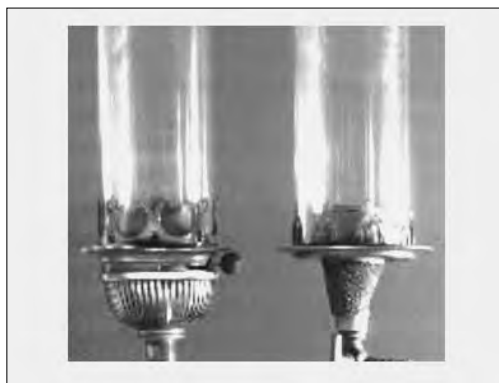
Mechero Manchester (Figuier, 1873: 157).

El mechero Manchester podía ser considerado como dos mecheros simples montados de forma que inclinándolos convenientemente produjesen una única llama. Con eso se conseguía que esta fuese más fija y brillante. No obstante, solo se utilizaba en los candelabros grandes como los que se situaban alrededor de los edificios, de las fuentes o en las plazas.

7.1.3. El mechero Argand

Los mecheros que hemos visto se caracterizaban por tener una sola corriente de aire. Sin

embargo, también se desarrolló otro tipo de mecheros que tenían una doble corriente y que utilizaban el principio del mechero Argand de doble corriente de aire. Estos fueron fabricados por Bengel en París a partir de 1853 por lo que se les denomina también mecheros Bengel. Consistían en dos cilindros concéntricos cubiertos por un anillo de hierro o de bronce cuya parte superior estaba agujereada para permitir el paso del gas. Los pequeños chorros de gas que salían por cada orificio estaban tan cercanos que cuando quemaban producían una especie de capa cilíndrica ininterrumpida que daba lugar a una llama fuliginosa, poco estable y de bajo poder lumínico.



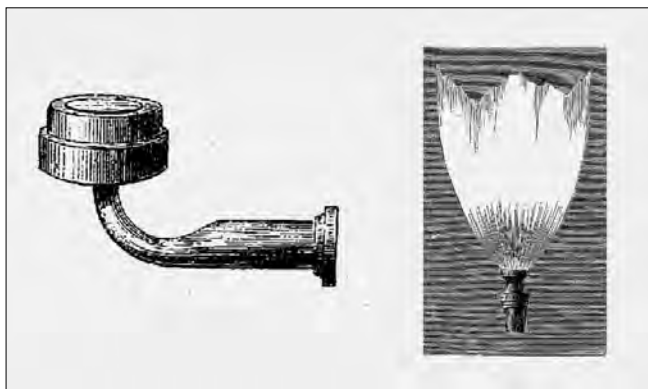
Mechero Bengel con chimenea de vidrio
(http://speleoclpa.free.fr/doccarbur15_eclairage/eclairage_2.htm).

Esta circunstancia hizo que se les aplicase unas chimeneas de vidrio igual como en las lámparas de aceite de tipo Argand y que se regulase la entrada de aire en su interior para producir una combustión completa. Se evitaban así los problemas de modificación de la llama o de apagado que presentaban los mecheros que quemaban al aire libre por el hecho de estar expuestos a los efectos del viento.

7. Utilización del gas manufacturado

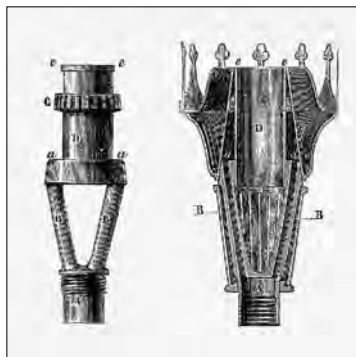
En estos mecheros Argand la cantidad de aire que alimentaba la llama venía determinada por el número de orificios y su velocidad, por la altura de la chimenea. Proporcionaban una luz blanca y fija que se podía regular mediante una llave. No obstante, si se limitaba la entrada de aire, la llama podía convertirse en roja y humeante.

Los mecheros Argand más simples fueron los que no llevaban chimenea y tenían entrada de aire libre. Se llaman mecheros sin sombra porque el cuerpo del quemador era muy pequeño y casi no proyectaba sombra. Pero solo eran útiles con gases de alto poder lumínico.



Mechero Argand sin chimenea de vidrio
(Figuier, 1873: 158-159).

Un tipo de mechero que se utilizó mucho en Francia fue el mechero Dumas o mechero económico, atribuido al químico francés Jean Baptiste Dumas (1800-1884), que se caracterizaba porque calentaba el gas antes de su combustión debido a que le hacía atravesar una serie de obstáculos.



Mechero Dumas. A la derecha la sección. A la izquierda los elementos interiores (Figuier, 1873: 159).



Mechero Dumas con su chimenea
(Figuier, 1873: 160).

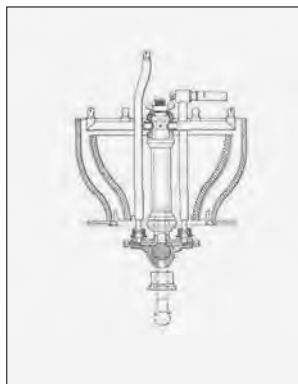
En la figura de la izquierda se representa una sección de este quemador y los elementos que conforman su interior. El gas entraba por A, se bifurcaba por BB y salía por los orificios *a, a*. A continuación discurría por un canal anular formado por las paredes del cilindro D y su envolvente en la que encontraba unos obstáculos acanalados C en donde se retardaba su paso y se calentaba hasta llegar al contacto con la llama que quemaba en la corona *e, e*. El mechero Dumas también utilizaba chimenea de vidrio como se puede ver en la figura de la derecha (Figuier, 1873: 158-160).

7.1.4. Los mecheros de chorro múltiple

Los mecheros mariposa utilizados en la iluminación de las calles eran insuficientes para iluminar grandes espacios como las plazas o los cruces. Por eso, en un primer momento se pusieron dos mecheros en un mismo farol como en los candelabros que

la Compagnie de Gaz de París instaló en la plaza de l'Etoile. Posteriormente se instalaron candelabros con tres y cinco brazos. Sin embargo, aunque resultaban decorativos, no daban las intensidades lumínicas esperadas por el número de quemadores utilizados debido a que se proyectaban unas sombras no deseadas.

Para solucionar este problema la Compagnie de Gaz de París creó en 1878 dos tipos de mecheros intensivos de 1.400 y 875 litros/hora que producían 126 y 68 candelas de intensidad lumínica. El primer ensayo se realizó en la calle Quatre-Septembre y por eso se les conoce como mecheros intensivos cuatro de septiembre.



Mechero cuatro de septiembre de 1.400 litros/hora (Marechal, 1894: 104).



Farol de gas con mechero intensivo cuatro de septiembre (Marechal, 1894: 105).

El mechero de 1.400 litros se compone de 6 quemadores mariposa de grieta de 0,6 mm repartidos en círculo y dispuestos de manera que las grietas están situadas perpendicularmente a los radios. Debajo de los quemadores se han colocado dos copas de vidrio que determinan una corriente de aire

doble, la interior a la llama y la exterior. En estas condiciones la combustión del gas es mucho más eficaz y el rendimiento de cada quemador se incrementa en un 30%. El encendido se realiza con otro mechero piloto de tipo mariposa situado más arriba que los anteriores y que quedaba encendido después de media noche. El mechero de 875 litros/hora era similar al anterior pero las copas de vidrio eran verticales y solo disponía de 5 quemadores. Debido a las dimensiones de los quemadores cuatro de septiembre hizo falta construir unos faroles especiales mayores que los existentes que resultaron ser muy decorativos (Marechal, 1894: 104-108).

7.1.5. El mechero de recuperación

El rendimiento de los mecheros intensivos no era muy bueno y por eso se ensayaron otros nuevos que consumiesen menos gas para la misma cantidad de luz. Dado que el rendimiento de un quemador aumenta con la temperatura de la llama, esta se puede incrementar aumentando la del aire combustible. En 1836, H.B. Chaussenot, utilizando este principio, incorporó a un mechero Argand una doble chimenea de manera que el aire que pasaba por entre las dos, se recalentaba en contacto con el vidrio central. Solo con eso, se conseguía aumentar el rendimiento en un 33% respecto de los mecheros ordinarios y recuperar en luz una parte del calor producido en la combustión del gas. Con esa mejora Chaussenot obtuvo un premio de 2.000 francos de la *Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale*. A pesar de eso, este invento fue olvidado hasta que en 1879 en Dresden, Frédéric Siemens construyó el primer mechero de recuperación. Sin embargo, las primeras pruebas realizadas entre 1881 y 1883 no dieron resultados demasiado satisfactorios

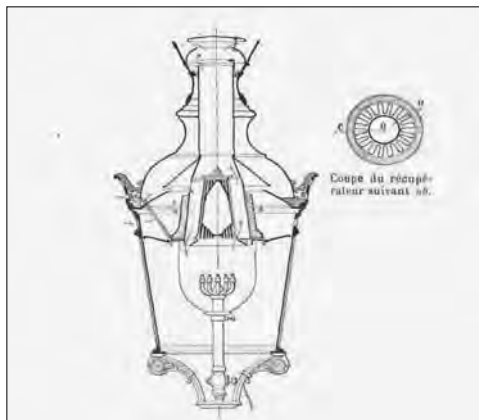
ya que la llama resultaba difícilmente regulable y las lámparas presentaban un mantenimiento caro. Los primeros mecheros de recuperación realmente satisfactorios no se introdujeron hasta 1886. Eran los mecheros Schulke que con algunas modificaciones dieron lugar a los mecheros parisinos. Posteriormente, en 1888, Cordier y Lacaze idearon otro de recuperación conocido como mechero industrial.

El mechero parisino se componía de una serie de mecheros distribuidos en círculo de manera que las grietas estaban inclinadas respecto a los radios de la circunferencia. Todos los mecheros estaban alimentados de manera centralizada y se disponía de un mechero más elevado que funcionaba como piloto.

La recuperación se efectuaba mediante un cono de níquel plisado cuya sección recta tenía forma de estrella. Los productos de la combustión se escapaban a través de este cono proyectándose sobre el plisado de manera que se calentaban hasta ponerse al rojo. El aire de alimentación penetraba por arriba y se desplazaba hacia abajo pasando por la parte exterior del recuperador. Al entrar en contacto con este, se calentaba hasta una temperatura de 500° C con la que entraba en el mechero.

El mechero estaba cubierto por una copa de vidrio cerrada mediante una unión de amianto que impedía que el aire se enfriase y en la que estaba situado el mechero piloto constantemente en funcionamiento con un consumo de 25 litros/hora. El conducto de entrada disponía de un regulador que permitía mantener una presión constante del gas y de una llave que apagaba o encendía el mechero, la corona o simplemente el piloto.

El mechero industrial difería del parisino en que los productos de la combustión en lugar de escaparse verticalmente salían del recuperador



Mechero de recuperación el Parisino
(Marechal, 1894: 110).

por una serie de tubos horizontales pequeños que acariciaban el aire de alimentación al descender. Posiblemente se perdía menos calor aunque los tubos acababan por estropearse y su contenido se podía escapar y mezclarse con el aire de alimentación perjudicándose el rendimiento lumínico.

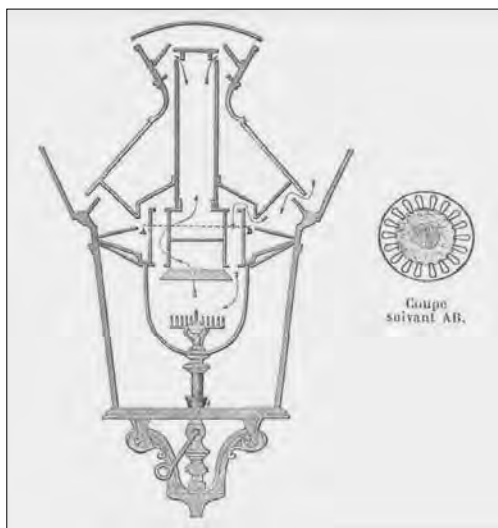


Mechero de recuperación el Industrial
(Marechal, 1894: 111).

Como ventajas, al tener el recuperador forma cilíndrica, el mechero industrial evitaba más los golpes de fuego y al estar la llama más alejada del vidrio y ser la copa de forma esférica, se impedía que se produjese su rotura con tanta facilidad. Hacia 1894 había en París 686 mecheros del tipo parisino y 1.280 del industrial que habían ido sustituyendo a los mecheros intensivos cuatro de septiembre (Marechal, 1894: 113).

7.1.6. Otros mecheros de recuperación

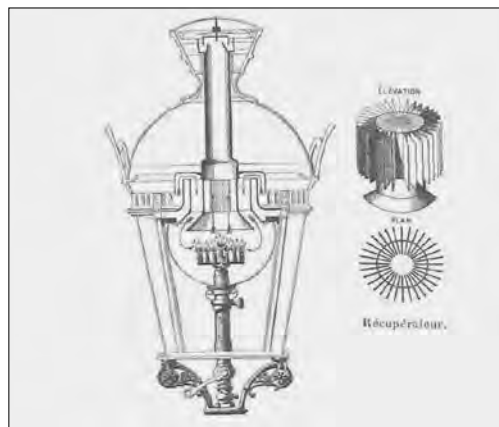
La técnica de la recuperación en los mecheros se fue extendiendo y perfeccionando dando lugar a un número grande de tipos diferentes. Entre ellos destacaremos a dos, el conocido como moderno y el que lleva el nombre de su constructor, Mortimer Sterling.



Mechero de recuperación Moderno
(Marechal, 1894 : 113).

En el mechero Moderno el recuperador era de níquel y estaba formado por una serie de tubos ovoideos contra los que colisionaban los productos de la combustión, mientras que el aire de alimentación descendía por esos mismos tubos. Lo construyó la casa Sevestre.

El mechero Mortimer Sterling tenía un recuperador formado por un cilindro vertical de níquel atravesado por láminas de este mismo metal. Los productos de la combustión se escapaban por el interior del cilindro de manera que acariciando las láminas interiores las ponía al rojo. De esta manera la parte exterior del cilindro se calentaba y transmitía ese calor al aire de alimentación que pasaba por el exterior.



Mechero de recuperación Mortimer Sterling
(Marechal, 1894 : 11).

Este mechero, de simple construcción, tenía la ventaja de presentar una superficie de calentamiento muy alta por lo que su duración podía ser de al menos 5 años. La soldadura que unía las láminas y el cilindro era suficientemente sólida

para que prácticamente no se produjese mezcla entre los gases de combustión y el aire de alimentación. El rendimiento de estos dos mecheros era prácticamente el mismo que el parisino y el industrial. Hacia 1894 había en París 76 mecheros modernos y 62 Mortimer Sterling.

Finalmente, hay que citar brevemente otros mecheros de recuperación como el tubular, el Guibout-Giroud, el Delmás o el Bénard. El mechero tubular era semejante al parisino pero el plisado se había sustituido por una serie de tubos verticales cilíndricos a través de los cuales pasaba el aire de alimentación. El mechero Guibout-Giroud, que tenía los quemadores dispuestos como el mechero cuatro de septiembre, disponía de un recuperador formado por una semiesfera de tierra refractaria. Los productos de la combustión se escapaban por el espacio comprendido entre la semiesfera y la chimenea y el aire de alimentación circula por la parte exterior de la chimenea y su envolvente exterior.



Mechero de recuperación Guibout-Giroud
(Marechal, 1894 : 115).

Se instalaron unos 22 mecheros de este tipo para iluminar el Teatro Francés. Respecto a los mecheros Delmás y Bénard no haremos referencia a ellos porque solo se instaló uno de muestra en la vía pública.

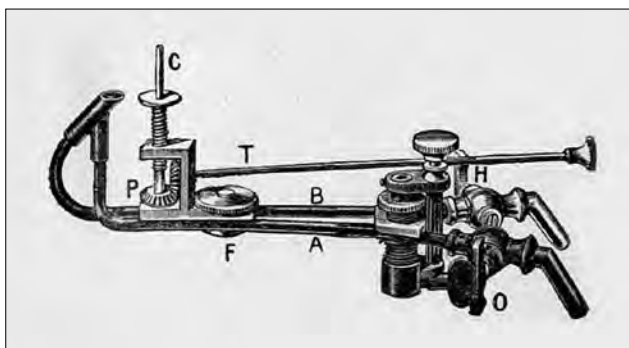
7.2. Iluminación por incandescencia

En todos los mecheros que hemos estudiado anteriormente la luz se producía por la combustión del gas. Sin embargo las partículas de carbono incandescente que se desprendían y se encontraban en suspensión dentro de la llama favorecían la intensidad de la luz. Aprovechando esta propiedad se construyeron unos mecheros en los que lo importante no era el gas sino llevar a un blanco incandescente las sustancias que por el calentamiento producía el gas. Tenían que ser sustancias inoxidables, no descomponibles por el calor y que alcanzasen el blanco incandescente muy rápidamente.

Los primeros ensayos de la iluminación por incandescencia se remontan a 1826 cuando Drummond tuvo la idea de calentar hasta la incandescencia un fragmento de cal. Posteriormente el ingeniero e inventor Antoine Galy-Cazalat (1793-1869) dio a conocer este proceso con el nombre de *Lumière Drummond* a través de diversos experimentos públicos que llevó a cabo en París, lo que favoreció su uso en las lámparas de proyección. También se hicieron ensayos en 1858 en el bosque de Bolonia en París y en 1860 en Londres (Dommer, 1898: 23).

De la luz Drummond derivan directamente los procesos de incandescencia moderna desarrollados a finales del siglo XIX. Se caracterizaban por la proyección de una llama muy

caliente sobre un lápiz de cal o de magnesia. La combustión se realizaba con un soplete oxhídrico que utilizaba bien hidrógeno y oxígeno o también gas de alumbrado y oxígeno. Los sopletes constaban de dos conductos separados A y B que se unían un poco antes del orificio de salida, de esta manera se podían utilizar los gases a presiones diferentes. Las llaves O y H abrían el paso del oxígeno y del gas de alumbrado respectivamente.



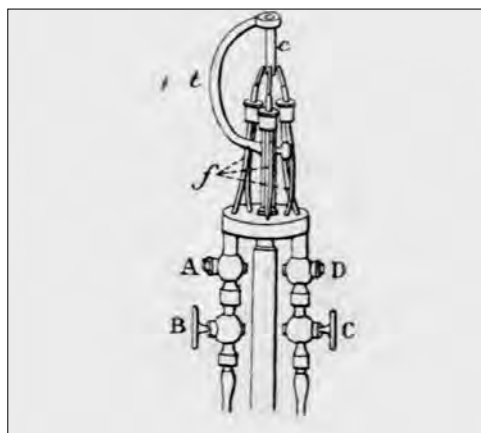
Soplete oxhídrico (Truchot, 1899:51).

En C se situaba el lápiz de cal cuya posición estaba regulada por la rueda F. En primer lugar se abría el paso del gas y a continuación de manera gradual se abría la llave del oxígeno hasta obtener la llama de la intensidad deseada (Truchot, 1899: 50-52).

En 1867, Cyprien Tessié du Motay (1819-1880) obtuvo una patente para la fabricación de un tipo de lápiz apropiado para el alumbrado con un soplete oxhídrico. Este lápiz tenía la forma cilíndrica y cónica y se componía de dos materias diferentes: un elemento poroso formado por óxidos terrosos (magnesia, cal o estroncia) y un elemento aglutinante formado por carbón negro de humo, resina u otro combustible. Estas materias se

pulverizaban y se mezclaban a 25 atmósferas de presión y después se cocían en un recipiente cerrado llevado al rojo.

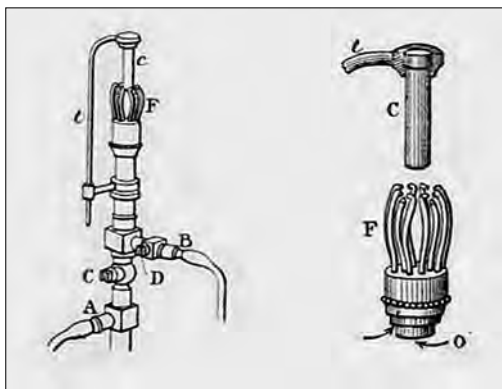
Este lápiz c, que estaba compuesto principalmente de magnesia, se situaba verticalmente en un quemador especial compuesto de un estribo t que lo sujetaba y tres uniones f que eran sopletes oxhídricos. Los chorros gaseosos inflamables que golpeaban la base del lápiz lo ponían incandescente.



Aparato Tessié du Motay (Truchot, 1899:57).

Durante el invierno de 1868 este mechero se utilizó en una serie de lámparas que iluminaron el Hôtel de Ville de París en cuyo sótano se instalaron las retortas de fundición que producían el oxígeno a partir de manganato sódico llevado al rojo. Ese mismo año la *Société Tessié du Motay* obtuvo una nueva patente para aplicar circonio a la luz oxhídrica ya que el lápiz de magnesia se gastaba muy rápidamente. El circonio resultaba ser más infusible, más inalterable y más luminoso que todos los otros productos utilizados hasta aquel momento. Al año siguiente Tessié du Motay puso en

funcionamiento un nuevo mechero llamado diferencial que mantenía la intensidad lumínica sin a penas intermitencias. Lo ensayó en el patio de la Tuilleries y estaba formado por 12 chorros, 8 de gas de alumbrado y 4 de oxígeno, en medio de los cuales se situaba el lápiz de magnesita en un principio y a partir de 1872 de circonio.



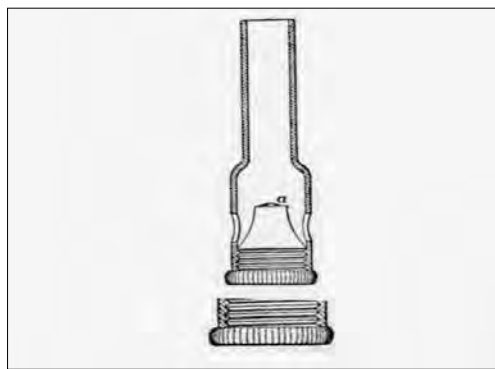
Mechero diferencial y elementos del mechero diferencial Tessié du Motay (Truchot, 1899:58-59).

Las figuras anteriores representan un mechero diferencial. En la figura de la derecha se puede ver con claridad el dispositivo diferencial en el cual *c* es el lápiz de magnesita o circonio y *t* el soporte. A su alrededor se sitúan los chorros de los gases que entran por debajo como indican las flechas. En la figura de la izquierda se ha dibujado un mechero completo en el cual se puede ver que en *A* está la entrada del gas de alumbrado y en *B* la del oxígeno, reguladas respectivamente por las llaves de paso *C* y *D* (Truchot, 1899: 59). Sin embargo, el procedimiento de Tessié de Motay no dio el resultado esperado en buena medida por el peligro que presentaba la combinación de oxígeno y gas de alumbrado al ser la mezcla detonante.

Estos sistemas de iluminación fueron retomados hacia 1872, sin excesivo éxito por Ernest Caron quien incorporó el circonio y lo experimentó en el boulevard de los italianos en París (Dommer, 1898: 32).

7.2.1. El mechero Bunsen

Los fracasos de los mecheros oxhídricos llevó la investigación de la iluminación por incandescencia, a partir de 1868, hacia la utilización del mechero Bunsen. Se atribuye la invención de ese mechero al químico alemán Robert Wilhelm Bunsen (1811-1899) quien en 1855 habría contribuido a su diseño. Su idea consistía en mezclar el aire con el gas un poco antes de la combustión. Este concepto de nuevo mechero se lo transmitió al mecánico de la Universidad de Heidelberg, Peter Desdega, quien lo construyó. Dos años después, Bunsen escribió un artículo conjuntamente con Henry Roscoe (1833-1915) en *Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie* donde detallaba este nuevo aparato. No obstante, es muy probable que Desdega contribuyese decisivamente al diseño final de este mechero.



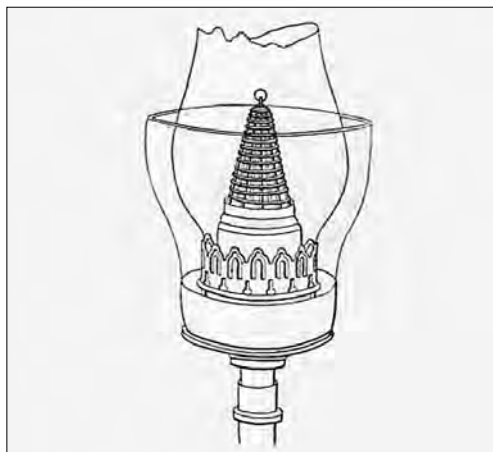
Mechero Bunsen (Truchot, 1899: 147).

El mechero Bunsen se componía de un cilindro metálico por cuya parte inferior se introducía el gas a través de una boquilla cónica. En las paredes del cilindro más o menos a la altura de la entrada del gas se practicaron unos agujeros que permitían la entrada del aire, la cual era regulable con ayuda de un obturador. El mechero Bunsen presentaba dos posiciones extremas de funcionamiento: con el obturador cerrado o con el obturador abierto. En el primer caso la combustión se hacía sin entrada de aire, la llama era larga, luminosa y depositaba negro de humo. El carbono procedente de la descomposición de los hidrocarburos quedaba en suspensión en la llama emitiendo rayos luminosos. En el segundo caso, la combustión se realizaba con admisión de aire exterior. El carbono se quemaba aceleradamente y daba una llama más caliente, más corta y menos luminosa. La forma de la llama variaba según la cantidad de aire admitido. Era azul en el interior, cuando había poca entrada de aire, pero se tornaba verdosa a medida que este se iba introduciendo. El mechero Bunsen con admisión de aire exterior debidamente regulado fue el que se utilizó en los quemadores de incandescencia que se desarrollaron con posterioridad (Truchot, 1899: 145).

Para producir la incandescencia se utilizaron diversos materiales interpuestos en el camino de la llama o en sus proximidades y se ensayaron estos en formas y disposiciones diversas a saber: a) un capuchón tejido como una red de hilos de platino; b) un cono de magnesia situado en el centro de este capuchón que irradiaba una luz muy blanca; c) un cono o casquete metálico bien sea hecho de plancha de platino o recubierto de tela metálica también de platino; d) una concha de cal o de magnesia perforada envuelta de tela de platino. De todos ellos describiremos dos mecheros que tuvieron una cierta trascendencia: el Sellon y el Clamond.

El mechero Sellon consistía en un mechero Bunsen recubierto con una chimenea de vidrio. La incandescencia se realizaba con una cestita de platino mezclado con iridio al 10%. La mezcla con iridio evitaba que la cesta de platino tuviese que ser reemplazada tan frecuentemente reduciendo así su fragilidad y su rotura. No obstante, aunque en un principio el mechero Sellon daba una luz muy bella a medida que pasaba el tiempo esta disminuía de intensidad y al cabo de 50 ó 60 horas de funcionamiento tenía que reemplazarse porque las propiedades de la mezcla platino-iridio habían desaparecido.

El mechero Clamond se caracterizó porque en lugar de una cestita de platino se colocó una capucha de magnesia sobre un quemador equipado con un sistema de recuperación de calor similar al de las lámparas de recuperación. El aire se calentaba al pasar entre la chimenea y una copa de vidrio exterior de poca altura, de manera que entraba ya caliente. La capucha de magnesia no duraba más de 80 horas de funcionamiento a pesar de que se le añadió una cierta proporción de circonio.



Mechero Clamond (Truchot, 1899: 63).

El éxito de los mecheros Sellon y Clamond fue limitado ya que, aunque tenían un buen rendimiento lumínico, el hecho de que los elementos de incandescencia se deteriorasen tan rápidamente daba lugar a unos elevados gastos de mantenimiento. Por eso se puede afirmar que los quemadores de incandescencia no se generalizaron hasta que no apareció el mechero Auer (Dommer, 1898: 33-34).

7.2.2. El proceso Auer von Welsbach

La dura competencia que la iluminación eléctrica sometía al gas de alumbrado a finales del siglo XIX agudizó los ingenios y hizo desarrollar la incandescencia gracias a la incorporación de las camisas Auer, las cuales le dieron un nuevo impulso de vida.

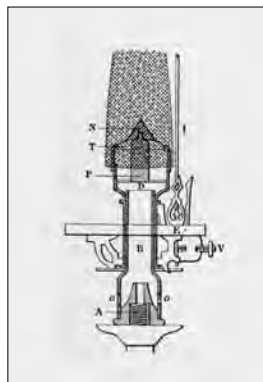
Carl Auer Freiherr von Welsbach (1858-1929) lanzó al público hacia 1885 las famosas camisas incandescentes que iban a revolucionar la industria del alumbrado. Este inventor austriaco había estudiado en la Universidad de Viena primero y después en la de Heidelberg, donde se doctoró. Allí perfeccionó sus conocimientos de química bajo la dirección de Robert Bunsen. De regreso a Viena trabajó como ayudante en el laboratorio del profesor Adolf Lieben (1836-1914).

El éxito de las camisas Auer no fue inmediato ya que las primeras que fabricó emitían una luz muy débil. No fue hasta 1892 que encontró la solución definitiva al utilizar óxidos de torio y cerio obteniendo unas camisas que proporcionaban una luz cálida y extremadamente brillante superando con creces la luz eléctrica por incandescencia. Este éxito tuvo como contrapartida la aparición de muchos imitadores lo que le llevó a defenderse en múltiples procesos judiciales (Truchot, 1899: 79).

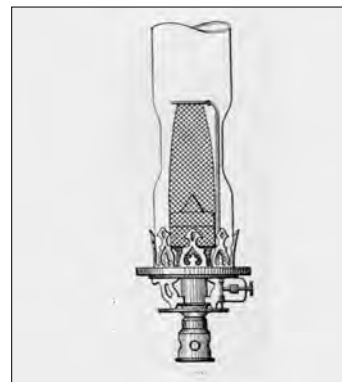


Carl Auer von Welsbach
(<http://en.academic.ru/die.nsf/enwiki/126187>)

El mechero Auer se componía de un pequeño dedal A de forma troncocónica de admisión de gas cuya parte superior estaba agujereada por 3 ó 5 agujeros según la potencia deseada. Tenía además una parte cilíndrica B en forma de cartucho agujereado en su parte inferior por cuatro oberturas $0,0$ dispuestas en ángulo recto y que servían para la admisión de aire de manera similar a como funcionaba el mechero Bunsen.



Elementos del mechero Auer



Vista general del mechero Auer
(Truchot, 1899: 152-153).

Tenía además un cilindro o cuello D de prolongación del B de mayor abertura que este a fin de poder sujetar la camisa incandescente por su parte interior. Este cuello estaba recubierto por una tela metálica T que servía para repartir de manera similar la mezcla de gas y de aire que salía del quemador y para impedir el retorno de la llama hacia el dedal de admisión.

En el interior de la parte D había un cilindro P que sujetaba la tela metálica. En el centro de ella se situaba un cono N aplanado de cobre que servía para modificar la forma de la llama al acercarla o alejarla de la camisa. Gracias a este artificio la llama ofrecía un aspecto cónico y acariciaba la casi totalidad de la superficie interior de la camisa. Sobre el bastidor E se fijaba con un tornillo un vástago de níquel que servía para soportar la camisa, ya que en su parte superior formaba un bucle cerrado donde se suspendía esta. El funcionamiento de ese mechero era similar al Bunsen, la vena gaseosa salía por el orificio del dedal de admisión y atraía aire exterior, el cual se mezclaba de manera íntima con el gas a través del cilindro y acababa en la parte superior del cuello saliendo por el orificio del quemador (Truchot; 1899: 151).

La camisa inventada por Auer se fabricaba con tiras de algodón de 15 cm trenzadas a mano. Una vez acabada, se reforzaba una de sus extremidades con un trozo de tul y se limpiaba primero en una solución amoniacal, después con una solución débil de ácido clorhídrico y finalmente con agua destilada. A continuación se sumergía en una disolución incolora de nitratos de torio, circonio e itrio y cuando estaba bien impregnada se retiraba con unos guantes de caucho. Se le quitaba el exceso de líquido y se dejaba secar dándosele la forma cónica sobre un molde de madera. A continuación se realizaba

la operación más delicada que consistía en incinerar el algodón, de manera que los nitratos se redujesen a óxidos, cosa que se conseguía exponiendo la camisa durante algunos minutos a una llama muy caliente producida por un chorro de gas comprimido a una presión de 1,5 m columna de agua. El resultado era un tejido muy ligero compuesto de materias minerales que al ser acariciado por la llama producía una luz muy brillante.

Una molestia que presentaban estos mecheros era que emitían habitualmente un ligero silbido. Además otro inconveniente era la extrema fragilidad de esas camisas que obligaba a realizar el encendido por la parte inferior y con mucho cuidado para evitar cualquier pequeña explosión que de producirse haría trizas la camisa.

El rendimiento era excelente ya que el consumo era solamente de 20 a 25 litros/hora por cada 9,74 candelas (1 Carcel) de intensidad lumínica. En los talleres de la *Société française d'incandescence par le gaz* se producían 500 mecheros Auer por día en dos modelos diferentes de 85 y 120 litros/hora respectivamente de los cuales en París ya se habían instalado en 1894 al menos 150.000. También en Alemania se utilizaron para el alumbrado de las vías públicas en ciudades como Stuttgart o Berlín (Marechal, 1894: 123).

El mechero Auer fue tan importante que dio lugar a otros similares a él con ligeras modificaciones, cosa que ocasionó procesos judiciales por acusaciones de plagio. Así sucedió con el mechero Oberlé muy similar al Auer con algunas variaciones como por ejemplo en la sujeción de la camisa. Lo mismo con el mechero Deselle donde la camisa se sostenía por un vástago central y para incrementar la potencia lumínica utilizaba dos camisas dispuestas de forma concéntrica.

También hubo algún mechero preparado para funcionar indistintamente con o sin camisa. Se trataba del mechero regulador incandescente. Pero para regular el caudal de gas que llegaba al mechero nada mejor que el mechero Besson que disponía de un quemador formado por una chimenea cerrada por un diafragma agujereado en su parte central y equipado en su base por dos llavecillas que actuaban sobre la parte central del diafragma regulando la intensidad de la llama producida.

En 1896, Leon Ornstein patentó y comercializó en España unos mecheros de incandescencia tipo Auer bajo el nombre de Mechero Fénix.¹ La competencia que la luz eléctrica ejercía sobre los mecheros convencionales ayudó a que el nuevo invento de los mecheros de incandescencia se fuera difundiendo muy rápidamente. En el catálogo del mechero Fénix se resumen



Mechero Fénix (Ornstein, 1896: 8).

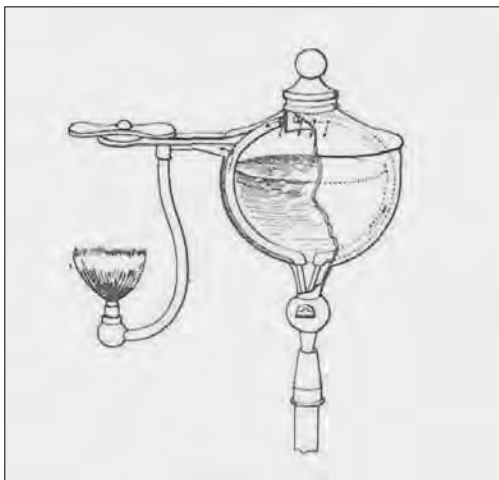
las ventajas de utilizar estas lámparas de gas en lugar de la electricidad, que son básicamente de fuerza lumínica y de tipo económico. Respecto a lo primero, el mechero Fénix se presentaba como equivalente a 4 mecheros ordinarios de 15 bujías, 3 mecheros Argand de 20 bujías o a 4 lámparas eléctricas de 16 bujías. Respecto al ahorro, el mechero de incandescencia solo gastaba en 2000 horas, 54 ptas (0,32 €), mientras en electricidad para obtener la misma potencia lumínica se requerían 460 ptas (2,76 €). Comparaciones, estas, según reza el catálogo, avaladas por el Royal Naval College y por el Laboratorio Real de Berlín.

Sean o no ciertas estas consideraciones, lo que resulta destacable es que este mechero tuvo una implantación no despreciable. En este sentido, a principios de 1896 se hicieron en los talleres de la Escuela de Artes y Oficios de Madrid unos ensayos que condujeron a la instalación de unos 1.500 Fénix en sus aulas, especialmente en las de dibujo. También se instalaron mecheros del mismo tipo en Granada, en locales como el Teatro Las Artes y en Madrid, en el Círculo Madrileño, el Café Montaña, el Gran Café de España, al Café del Pasaje y el Nuevo Café. En exteriores, el mismo año se ensayó con estos mecheros la iluminación de la plaza nueva de Vitoria (Ornstein, 1896, 10).

7.2.3. El mechero Albo-carbón

Algunos propietarios de grandes almacenes prefirieron utilizar un mechero que no utilizaba camisa y que enriquecía la llama incorporando vapores de naftalina mezclados con el gas de alumbrado. Se trataba del mechero Albó-carbón que, aunque compitió con los mecheros Auer,

¹ Patente de invención núm. 17.757 de 13 de septiembre de 1895, otorgada por el Ministerio de Fomento.



Mechero Albó-carbón (Marechal, 1894: 124).

solo tuvo un desarrollo marginal.

El principio consistía en enriquecer el gas suministrado por la Compañía cargándolo de vapores susceptibles de aumentar el contenido de carbono de la llama y para eso se utilizaba la naftalina. Este hidrocarburo que está en estado sólido a temperatura ordinaria se convierte en vapor a una temperatura y presión adecuadas. A tal efecto se le colocaba dentro de un recipiente ovoide debajo del mechero con una salida hacia este de manera que, cuando el gas se inflamaba, calentaba la salida de la naftalina cuyos vapores se mezclan con la llama. De esta manera con 30 litros/hora y 2 gramos de naftalina se consiguió 9,74 candelas (1 Carcel) de intensidad lumínica aunque solo al cabo de al menos 40 minutos de funcionamiento. Era el tiempo necesario para vaporizar la naftalina cuyos vapores, además, desprendían un olor desagradable. Este mechero no tuvo demasiado futuro por diversas razones pero principalmente porque requería un mantenimiento frecuente para el relleno

de la naftalina (Marechal, 1894: 124).

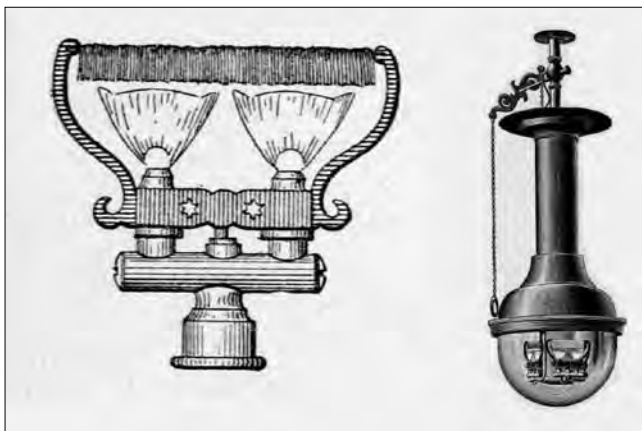
7.2.4. Otros mecheros de incandescencia

Desde finales del siglo XIX hasta 1930 en que se generalizó el uso de la corriente eléctrica se desarrollaron algunos tipos de mecheros, unos de incandescencia por gas y otros no, que intentaron abrirse camino en el complejo campo de la iluminación. Así, los inventores que descartaron la vía de los quemadores Auer se encaminaron hacia la incandescencia con mecheros de llama plana como los antiguos de mariposa que resultaban más económicos, ya que quemaban el gas al aire libre sin ningún tipo de chimenea.

La idea primitiva la tuvo Ladureau quien fijó un mechero mariposa sobre otro de tipo Bunsen de manera que con ayuda de la regulación de la admisión de aire conseguía una llama azul. El elemento incandescente estaba formado por un eje central formado por dos filamentos de platino entre los que había filamentos orgánicos impregnados de óxidos incandescentes. El quemador de estas características más singular es el conocido como el Heliógeno.

El mechero Heliógeno estaba compuesto de un quemador y de una pluma. El quemador era doble de tipo Bunsen y presentaba la peculiaridad de proporcionar un chorro de gas en forma de capa muy delgada que permitía una potencia calorífica elevada en un espacio pequeño sin tener que añadir una camisa. La pluma la formaban unas fibras ligeras de óxidos refractarios similares a los de la camisa Auer montadas sobre un vástago de platino. La pluma estaba situada en la parte caliente de la llama de manera transversal y se podía afirmar que estaba bien quemada cuando las fibras se inclinaban unos 45° a cada lado. Presentaba la

ventaja, por su forma y construcción, de ser más sólida que las camisas de manera que con un poco de cuidado podía funcionar unas 1200 horas (Truchot, 1899: 161).



Mechero Heliógeno y lámpara de recuperación con mechero Heliógeno (Truchot, 1899: 162).

El mechero Heliógeno resultaba un buen sustituto de los mecheros Manchester de las lámparas de recuperación. Además, al no tener chimenea, resultaba indicado para el alumbrado público y de exteriores. Sin embargo no tuvo demasiada difusión.

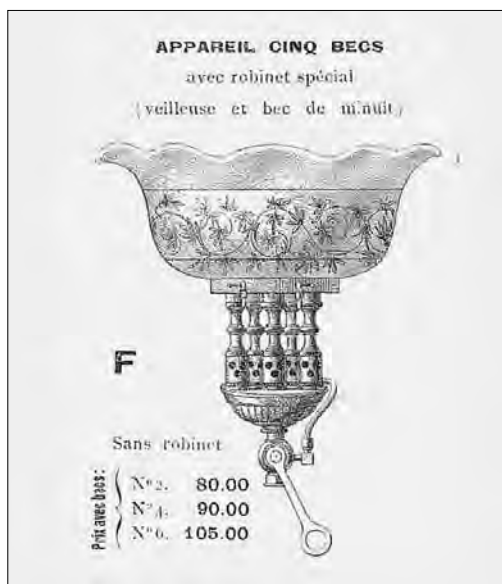
Con la voluntad de mejorar el rendimiento de estos mecheros, se buscaron maneras de conseguir que el gas y el aire, destinados a alimentar ese quemador, se mezclasen de manera más íntima. El estudio de la combustión indicaba que con esta mezcla mejor hecha y con el aumento de su temperatura se podía mejorar ese rendimiento. Estos estudios dieron lugar a los mecheros intensivos que se caracterizaban por utilizar dos quemadores superpuestos y dos chimeneas a fin de incrementar la velocidad de la mezcla y su riqueza en oxígeno. El mechero

intensivo más destacado fue el patentado por Denayrouze en 1895 y que se experimentó al año siguiente en el Casino Royal en ocasión del Congreso de Clermond Ferrand.

En un principio, el mechero Denayrouze se caracterizaba por conseguir esa mezcla íntima con un ventilador rotativo de aletas situado bajo el quemador bien accionado por corriente eléctrica o por un mecanismo de relojería basado en la expansión de un muelle espiral. No obstante, su autor abandonó rápidamente estos sofisticados quemadores por otros que no utilizasen fuerza exterior. Así surgió el mechero Denayrouze automezclador que obtenía la energía de la pérdida de carga del gas, del calor perdido en la combustión o del tiro de una chimenea. En la parte inferior de la camisa se instaló una ruedecilla de álabes curvos que se ponía en movimiento por la velocidad del aire y del gas que salía del Bunsen gracias a que la chimenea funcionaba como un aspirador de ventilación. De esa manera se pulverizaban y calentaban el gas y el aire al tiempo que eran mezclados íntimamente (Truchot, 1899: 176).

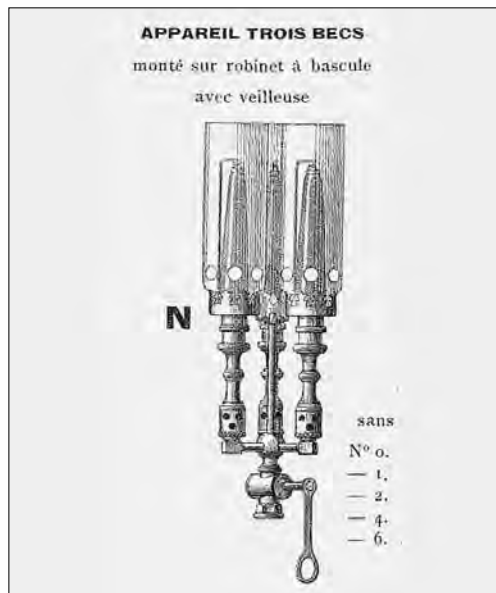
Un catálogo de la *Compagnie d'Éclairage Denayrouze* de noviembre de 1900 afirmaba que el mechero Denayrouze tenía un rendimiento 10 o 12 veces mayor que un mechero mariposa ordinario y que daba una luz brillante y extremadamente fija. La luz se repartía por toda la superficie de la camisa en lugar de concentrarse en un solo punto como sucedía con la luz eléctrica, cosa que reducía la fatiga visual. Las lámparas de múltiples mecheros tenían las camisas contiguas unas con las otras de manera que al encenderse simulaban un solo hogar y producían una luz brillante. Las calles de París fueron testigo, principalmente los jardines del Trocadero donde esta empresa

instaló algunos de sus mecheros, con motivo de la Exposición Universal de 1900. En aquel momento se comercializaban dos grandes líneas atendiendo a la presión del gas. Si como sucedía en París, o en las grandes ciudades europeas, esta era superior a 40 mm de columna de agua, los mecheros apropiados eran los de alta presión los cuales funcionaban sin chimenea.



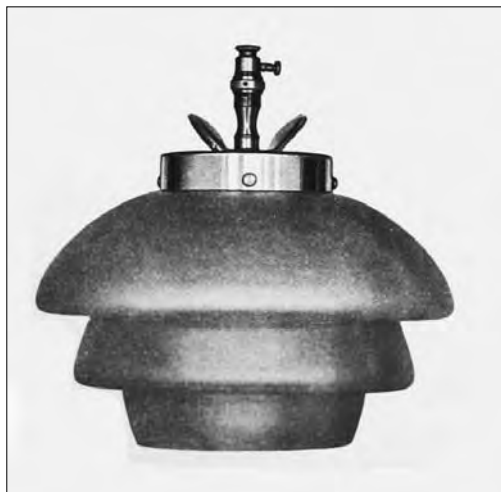
Mecheros Denayrouze de alta presión
(Denayrouze, 1900: 10).

En cambio si la presión era inferior a 40 mm, como pasaba en algunas ciudades más pequeñas, los mecheros apropiados para ellas estaban provistos de una chimenea especial que permitía conseguir una considerable intensidad lumínica.

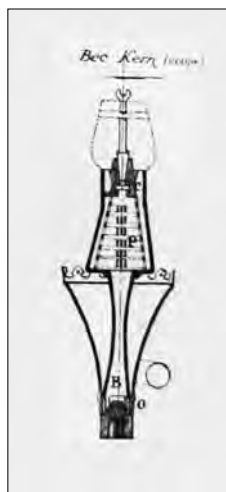


Mecheros Denayrouze de baja presión
(Denayrouze, 1900: 11).

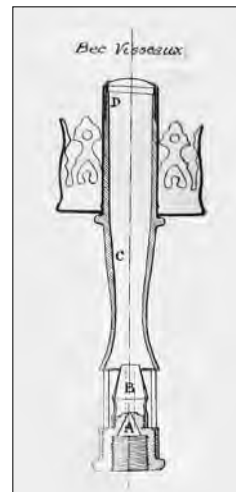
Por esa misma época se inventaron los mecheros invertidos que al ser dispuestos en sentido inverso iluminaban hacia abajo y evitaban las sombras que producían las lámparas de gas y que no aparecían con las lámparas eléctricas. Esta nueva disposición hizo inútiles las chimeneas. A partir de 1900, el aumento de presión en el gas permitió un uso mayor de los mecheros invertidos entre los que se destacaría el mechero Graetzin o el mechero Farkas. En Barcelona, la empresa Incandescencia Española de la Viuda de Enrique Canals, comercializó por esta época un mechero invertido para alumbrado de interiores, que disponía de un inyector graduable azulado y de una galería de aluminio que resistía muy bien la oxidación y que ofrecía la ventaja de proporcionar calefacción además de luz.



Mechero invertido para alumbrado interior
(Canals, s/f).



Mechero Kern
(Mineur, 1922: 79).



Mechero Visseaux
(Mineur, 1922: 80).

A pesar de todas estas mejoras, solamente el mechero Auer consiguió una intensidad lumínica superior a la de las lámparas eléctricas por lo cual se produjo una encarnizada competencia entre la producción de luz con gas o con electricidad durante las primeras décadas del siglo XX. Así hacia 1920 se comercializaron dos tipos de mecheros que combinaban el sistema Bunsen con el uso de camisa Auer.

Se trataba del Kern y del Visseaux. El mechero Kern era un mechero Bunsen de sección hiperbólica alargada en el que la mezcla de aire seguía un recorrido por un tubo hiperbólico, atravesaba un panel perforado y penetraba en una cámara que le daba acceso al quemador. Este tenía una parrilla que solo dejaba pasar las llamas por los lados. La camisa estaba montada sobre un vástago central de magnesita y se protegía con un vidrio sujetado en un bastidor.

El mechero Visseaux era un mechero intensivo muy similar a los anteriores que tenía un inyector A colocado sobre un cono B, de manera que la mezcla discurría por el tubo hiperbólico C hacia el quemador D, el cual soportaba el bastidor tipo Auer (Mineur, 1922: 79-80). Pero el gas ya comenzaba a perder la batalla de la iluminación frente a la electricidad y las empresas gasistas tuvieron que potenciar otros usos para poder subsistir o bien introducirse en el mercado de la electricidad.

7.2.5. Las farolas de gas

Los mecheros de gas que hemos descrito hasta aquí se instalaban en el interior de farolas para su uso en el alumbrado público o dentro de lámparas para la iluminación de locales públicos o privados. Las farolas se componían

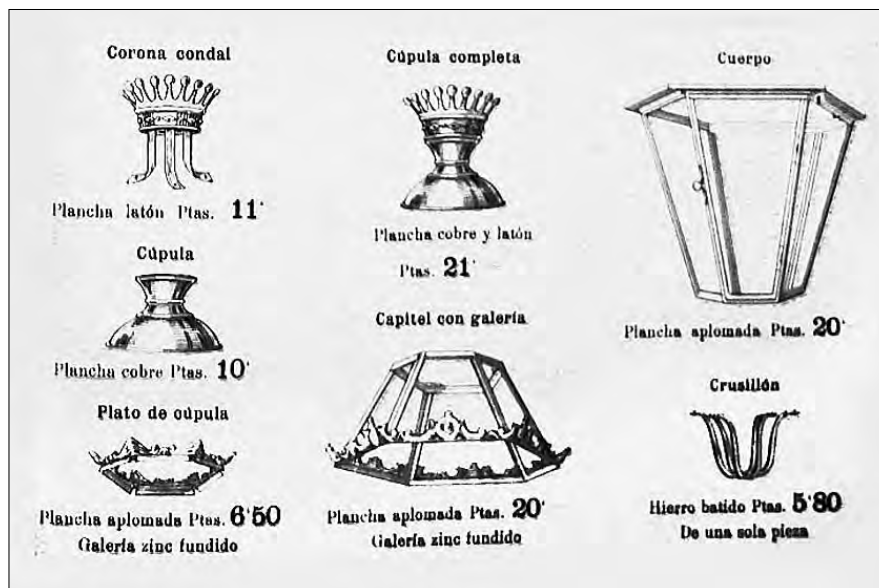
fundamentalmente de dos elementos: el farol y el soporte. El primero solía ser de plancha aplomada de cobre o de latón y de forma cuadrada, redonda o hexagonal.



Faroles cuadrados, redondos, hexagonales
(Grimmeisen, s/f).

Los faroles se componían básicamente de tres piezas: la cúpula, el cuerpo y el crucillón. La cúpula era de plancha de cobre y latón con sombrero de remate que a veces era una corona de latón. El capitel y el cuerpo eran de plancha aplomada y estaban preparados, principalmente el cuerpo, para sujetar los cristales. El capitel en algunos modelos era de plancha y en otros de cristal con sujeciones de latón. Finalmente el crucillón estaba formado por cuatro brazos curvados de hierro que sujetan el farol por la parte inferior uniéndola al soporte.

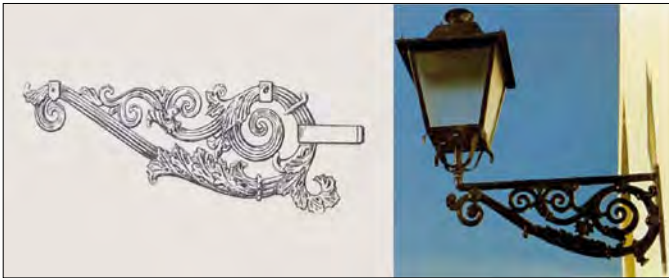
El farol redondo era más decorativo y repartía mejor la luz. Pero, fuese redondo, cuadrado o hexagonal, una de las caras del farol tenía que ser móvil para facilitar la limpieza. Además el capitel tenía que estar agujereado para



Despiece de un farol de gas (Grisau, 1907: 3).

permitir que los productos de la combustión se escapasen. La parte inferior estaba abierta o tenía una trampilla triangular de tela metálica que giraba alrededor de uno de sus lados para facilitar el encendido. El mechero se situaba en el centro del farol.

Los soportes solían ser de dos tipos, de repisa o de candelabro y eran de fundición. Las primeras se situaban en las fachadas de las casas a unos cinco metros del suelo y el tubo de gas se incrustaba en la pared, cosa que no siempre estaba bien vista por los vecinos del inmueble.

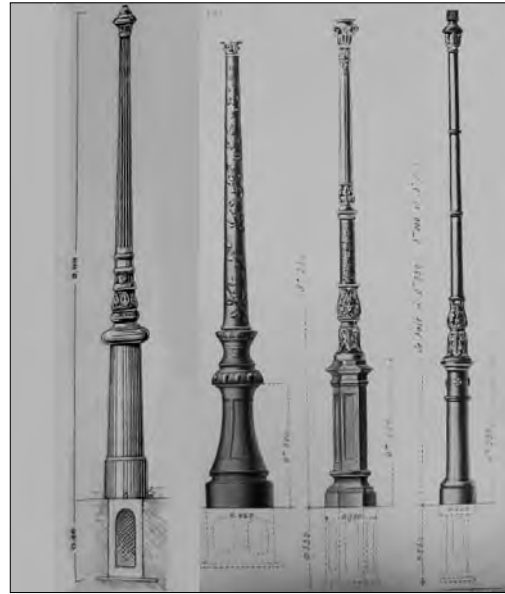


Repisa de hierro fundido y farol de gas de repisa (Grisan, 1907).

Los candelabros se colocaban en las aceras y tenían una altura de 2,40 m no siempre eran de fundición, también se solían fabricar de bronce. Tenían tres partes: el zócalo, que se hundía bajo tierra, el guardarruedas y el fuste.

Para decorar algunas calles o plazas se construyeron algunos candelabros lujosos. Así en París se erigieron algunos especiales con diversos brazos para la plaza de l'Etoile, los Champs Elysées o la plaza de la Concorde (Marechal, 1894: 100).

También en Barcelona las farolas fueron objetos ornamentales y se vieron afectadas por las corrientes artísticas del momento. Los más



Candelabros de hierro (Grisan, 1907) (Grimmeisen, s/f).



Candelabros de los Champs-Elysées, de la plaza de la Concorde, del puente de la Concorde y una columna rostral de los alrededores de la Ópera (Marechal, 1894: 101, 103).

destacados fueron los candelabros múltiples que diseñó el arquitecto Antonio Gaudí y que se pueden ver actualmente en la plaza Real aunque ya no con gas sino transformados para funcionar con electricidad (Ribas, 1998, 33-38) (Gubern, 1981).



Candelabro múltiple de Gaudí
(AHFGNF).

Actualmente, poco antes de concluir la primera década del siglo XXI, pocas ciudades conservan farolas que sigan siendo iluminadas con gas. Quizás el caso más destacado es el de la ciudad de Berlín en la que aún se conservan unas 44.000 de ellas. Se trata, posiblemente de un caso singular a nivel mundial ya que por ejemplo en París solo hay unas 300 y

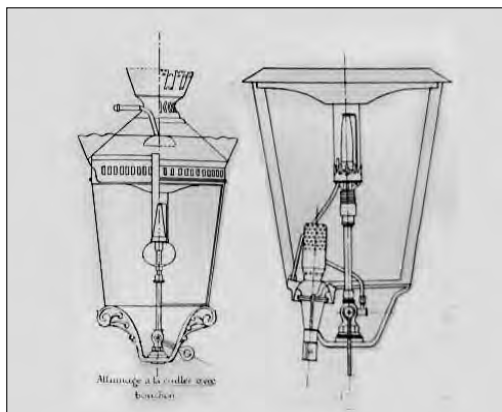
en Londres unas 600 y situadas en lugares emblemáticos (Poch, 2009:7). En Barcelona la última farola de gas se apagó en 1967 y las que resultaban decorativas o tenían un valor artístico fueron paulatinamente reconvertidas a la electricidad aunque últimamente también algún lugar emblemático del barrio gótico como la plaza de San Felip Neri vuelve a estar iluminado con gas.

7.2.6. Los sistemas de encendido del alumbrado público

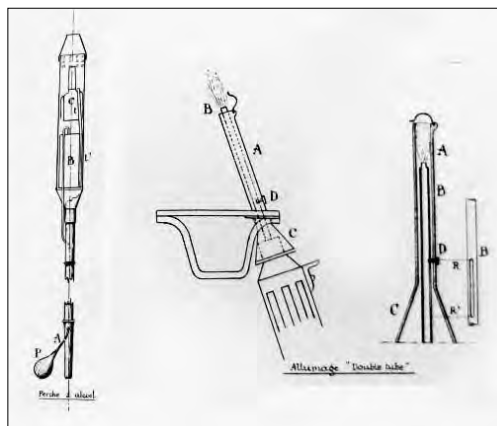
Quizás uno de los problemas del alumbrado público era su encendido que se inició de forma manual mediante los conocidos faroleros y poco a poco se fue automatizando. Se pueden destacar cinco procedimientos de encendido de los mecheros de las farolas: 1) el encendido con llama piloto, 2) el encendido de cuchara, 3) el encendido con rampa, 4) la pértiga de alcohol, y 5) el encendido automático.

El encendido con llama piloto fue el primero de los métodos que se utilizó al principio del alumbrado con mecheros de incandescencia tipo Auer ya que se creía que las explosiones debidas al encendido no destruían las camisas. Consistía en situar un pequeño mechero piloto de poco consumo que permanecía encendido y facilitaba la operación de encendido con solo abrir la llave de gas.

El encendido de cuchara consistía en la colocación en la parte superior del farol de una pequeña copa o cuchara invertida que permitía el encendido del gas desde fuera del farol. Este sistema presentaba problemas en los días de mucho viento ya que el farolero se encontraba con dificultades para poder encenderlo.



Encendido con cuchara y con rampa
(Mineur, 1922:85).



Pértiga de alcohol para encendido. Mecanismo de
encendido por tubo doble (Mineur, 1922: 86-87).

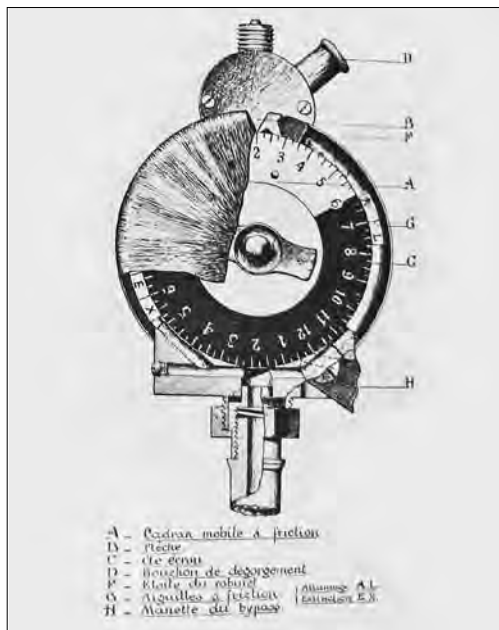
El encendido con rampa fue uno de los procedimientos más extendidos. La rampa era un tubo con muchos agujeros que se encendía por contacto de la llama del encendedor. El mecanismo funcionaba gracias a la existencia de una llave de tres vías que permitía la extinción completa, el acceso del gas a la rampa y al mechero, y el cierre de la rampa y la abertura del mechero (Mineur, 1922:85).

En 1900 se inventó la pértiga de alcohol para encender directamente las camisas sin que hubiera necesidad de rampa o de cuchara. La pértiga de encendido contenía un depósito de alcohol B y una lámpara de aceite C. En la parte inferior había una pera de caucho P conectada mediante un tubo A que comunicaba con el recipiente de alcohol, B. Al comprimir la pera P se pulveriza alcohol el cual se inflama en contacto con la llama de la lámpara de aceite. Es esta llama de alcohol la que se utilizaba para encender el mechero al introducir la pértiga de encendido por los agujeros de la base del farol o por la trampilla prevista para ello (Mineur, 1922: 86).

El sistema de la pértiga también presentaba inconveniente en las ciudades con mucho viento, por ello la Sociedad Auer ideó un dispositivo consistente en poner una funda sobre el extremo de la pértiga que penetraba en el farol. En su interior se situó un tubo móvil que cuando se introducía la pértiga ese tubo subía, se abría el capuchón y la llama de alcohol encendía el mechero. Después, el tubo retornaba a su posición inicial y el capuchón se cerraba por su propio peso.

Todos estos procedimientos más o menos sofisticados requerían un operario que fuese encendiendo y apagando todos y cada uno de los faroles. El encarecimiento de la mano de obra comportó que las compañías de gas trataran de aplicar sistemas de encendido automático. Este procedimiento se basó inicialmente en el movimiento de un reloj que tenía un disco circular que efectuaba una revolución cada 24 horas. Así, aprovechando el movimiento del disco se accionaba una llave de paso del gas. Y para permitir la inflamación de este gas había una

llama piloto encendida durante todo el periodo en que el mechero estaba apagado, se apagaba a los 5 minutos de encendido este y se volvía a encender 5 minutos antes de su extinción (Mineur, 1922: 89).



Encendido automático (Mineur, 1922: 89).

Las horas de encendido y apagado las fijaban las autoridades municipales y variaban según las estaciones del año y las costumbres del lugar habiendo farolas que funcionaban toda la noche mientras que otras se apagaban a medianoche.

7.3. Los usos del gas para cocinar

Hasta finales del siglo XIX, el gas prácticamente solo se utilizaba para la iluminación,

sin embargo a partir de 1880 empezó a utilizarse para cocinar. El hecho que fuese caro y de difícil instalación retardó su difusión y solo se aplicó en las casas de alto nivel económico. Además a algunos usuarios no les resultaba agradable el sabor de las comidas preparadas con cocinas de gas. Los criados también estaban en contra de ellas ya que, dado que pasaban muchas horas en la cocina, con las de carbón, además de cocinar se calentaban, mientras que con la de gas en invierno pasaban frío. Por eso los catálogos y las revistas aconsejaban a las amas de casa que instruyesen a los criados para un uso apropiado del gas (Berlanstein, 1991: 25). Un folleto de 1924 titulado *La cuisine au gaz c'est la cuisine moderne* atribuido al cocinero Rossini, como otros similares aparecidos en esos años, tenía como objetivo hacer el gas más atractivo y alejar temores y prejuicios sobre su uso en la cocción (Arroyo, 2003: 12). Aún en 1936, a principio de la guerra civil española, en Barcelona se decía que en los mejores pisos del Ensanche había “agua, gas y un jesuita” (Benet, 2008: 39). Esta frase, que se utilizaba para reflejar la disolución de los jesuitas en España en 1931, nos sirve también como prueba que el gas era un distintivo de buena posición social y que su difusión en la cocina no fue precisamente rápida.

Empezaremos describiendo la cocina más simple que es el fogón, para continuar con las cocinas que integraban hornos y quemadores en un solo conjunto. Finalmente dedicaremos un apartado a las grandes cocinas de hoteles o restaurantes.

7.3.1. Los fogones

El elemento más sencillo de utilización del gas para la cocina fue el fogón. A través de él las empresas distribuidoras de gas se fueron

introduciendo en los hogares. Así, cuando un usuario particular contrataba gas para el alumbrado de su domicilio, la compañía le solía regalar un pequeño fogón con el que comprobaba las ventajas de utilizar el gas para la cocción. Se trataba básicamente de un simple fogón redondo que resultaba útil únicamente para calentar por ejemplo café y que se conectaba a la tubería de gas mediante un tubo de goma.

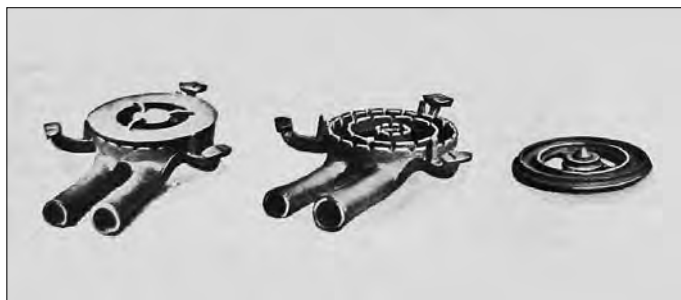


Fogón redondo (Brachet, 1926b: 4).

El componente principal del fogón era el quemador el más sencillo de todos era el quemador simple de forma circular y accionado por una única llave de paso. El principio era similar al del mechero Bunsen. Para conseguir una buena combustión del gas se requería que, antes de producirse esta, tuviese lugar una mezcla apropiada con el aire de manera que la llama obtenida fuese azulada. Normalmente, las empresas suministradoras de los mecheros eran las encargadas de regularlos. Pero podía suceder que por razones diversas el quemador no lo estuviese y entonces al abrir la llave y aproximar la cerilla encendida no se producía la llama azulada sino una blanca que ennegrecía el entorno emitiendo un olor desagradable y

produciendo un silbido molesto. Esto indicaba que la combustión no tenía lugar en el exterior del quemador sino en su interior que pronto se tornaba incandescente. En este caso se recomendaba cerrar rápidamente la llave y volver a encender para ver si se conseguía de nuevo la mezcla de gas apropiada. Si después de varios intentos no se obtenía la deseada llama azulada había que llamar a la compañía para que procediese a su regulación.

Algunos fogones tenían quemadores dobles que disponían de dos llaves, una para la llama exterior más grande y la otra para la llama interior más pequeña. La primera servía para cocer alimentos hasta la ebullición, mientras que la segunda continuaba la cocción diríamos que a fuego lento.



Quemador circular doble desmontado
(Soleure, 1906: 7).

Algunos quemadores repartían la llama por igual en toda la superficie inferior del recipiente, pero otros, en cambio, la concentraban en el centro del mismo. Las casas comerciales recomendaban los primeros para la cocción de alimentos sólidos y los segundos, llamados económicos, para calentar líquidos.

El catálogo de la casa Garnier de Lión comercializaba en 1905 fogones redondos simple y de

dos y tres llaves, lo que indica que podían disponer de hasta tres llamas concéntricas de diferente intensidad para regular la cocción.

Estos fogones utilizaban quemadores simples

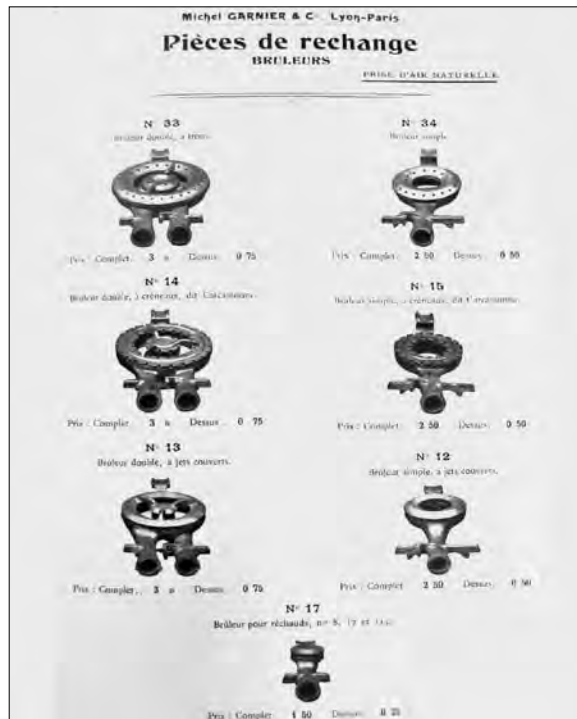


Fogones simples, de dos y tres llaves (Garnier, 1905: 3).

y dobles agujereados, quemadores simples y dobles almenados, llamados de tipo Carcasona, y quemadores dobles y simples de chorro cubierto, como ponían de manifiesto las piezas de recambio que la misma empresa ofrecía en su catálogo.

Por esos años la empresa Garnier patentó un nuevo quemador que aumentaba la proporción de aire de la mezcla, de manera que se produjese una combustión más perfecta. Para poder efectuar esto disponía de dos conos de aspiración interiores situados en los extremos de los tubos de entrada, de manera que también se evitase el retorno de la llama.

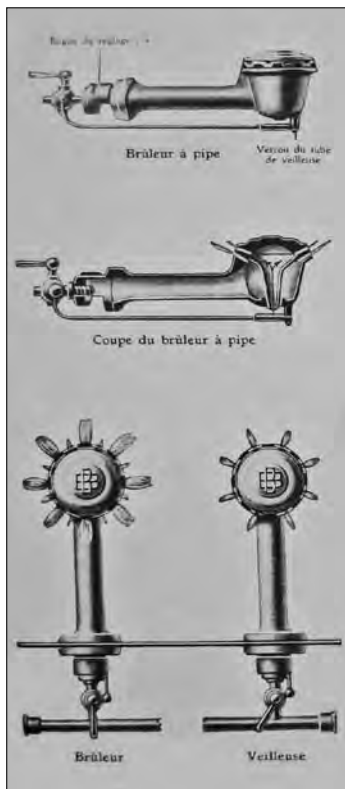
En 1922, la casa Brachet, Richard & Cie comercializó un nuevo quemador llamado de pipa que obtuvo un premio en el *Concours Technique de Chauffage* et de la Cuisine au Gaz. El objetivo de este quemador era básicamente económico. Por ello se buscó que tuviese lugar una buena mezcla de aire y gas en una cámara, de manera que la llama obtenida proporcionase la máxima temperatura. La llama conseguida era compacta y con volumen suficiente para evitar la pérdida de temperatura ocasionada por el aire exterior.



Recambios de quemadores (Garnier, 1905: 63).



Nuevo quemador Garnier (Garnier, 1905: 67).



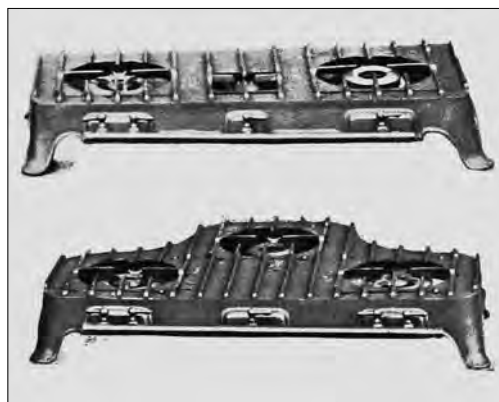
Quemadores económicos de pipa
(Branchet, 1926b: 3).

Este quemador tenía un dispositivo especial que le permitía funcionar como quemador simple o doble. En este segundo caso la corona exterior proporcionaba la llama principal y la mediana una llama más reducida que servía para mantener el calor o como luz piloto. Una única llave de paso permitía maniobrar las dos coronas.

El sencillo fogón redondo estaba fabricado inicialmente de fundición de hierro de la primera fusión, conocido como arrabio, y posteriormente se comercializaron niquelados

y esmaltados. La parte superior que estaba en contacto con el recipiente a calentar podía tener unas lamas fijas, unas arandelas extraíbles o formar una superficie lisa. A los fogones redondos siguieron otros de formas diferentes. Se fabricaron fogones cuadrados de un solo fuego y rectangulares o triangulares de diversos fuegos accionados por varias llaves, según fuesen los quemadores simples o dobles.

En la imagen anterior se muestran dos fogones



Fogones de tres fuegos (Garnier: 1905 4,6).

de lamas. El de arriba es rectangular de tres fuegos con dos quemadores dobles y uno simple, accionados por diversas llaves. El de abajo es triangular y también de tres fuegos.

En el periodo entre guerras se fue perfeccionando el proceso de esmaltado y por eso en los catálogos de esos años se presentaban modelos de fogones esmaltados en una amplia gama de colores incluido un esmalte granítico cerámico muy agradable a la vista y muy práctico de uso, ya que facilitaba considerablemente la limpieza.

El catálogo de la casa Brachet & Ricard de 1932



Fogón esmaltado de dos fuegos (Branchet, 1932: 3).

mostraba algunos modelos de fogones como este de dos fuegos con la parte superior plana con parrillas reversibles y quemadores de tipo pipa.

7.3.2. Las cocinas

La historia ha recogido el año 1832 como el inicial de la cocina de gas. En este año James Sharp inventó y ensayó en su casa de Northampton lo que se ha considerado como la primera cocina de gas. A este primer invento siguieron diversas patentes como la del asador de Hicks, el recipiente ovalado de Weller de 1835 o la mesa de hierro de Ricketts (Wright, 1966: 171-176).

Evidentemente la invención del mechero Bunsen contribuyó en gran manera a mejorar la combustión y esto influyó en las cocinas que fueron tomando formas similares a las modernas. De hecho, si a unos fogones como los mostrados anteriormente se les añade un horno, un gratinador o un asador se obtenían unos elementos que se asemejaban mucho más a una cocina.



De arriba abajo: fogón con horno, fogón con parrilla, fogón con asador (Branchet, 1926a: 24; Garnier, 1905: 8; Branchet, 1932: 4).

Las cocinas de carbón, que debieron inspirar de alguna manera las cocinas de gas, requerían ser puestas a plena marcha para cualquier uso. Así, aunque solamente se tuviese que calentar un recipiente pequeño, se estaba obligado a encenderla y a mantener el horno a pleno consumo de combustible. En cambio, en los aparatos de gas no sucedía así. El gasto se podía ajustar de manera proporcional al resultado deseado. El recipiente pequeño solamente requería un fuego pequeño. Es más, si se

utilizase un fuego grande, las llamas estarían mal dirigidas y el consumo sería desproporcionado. Por eso desde los inicios se fabricó una diversidad muy grande de modelos, tipos y medidas de cocinas, cosa que no había sucedido en las cocinas de combustible sólido. La parte negativa del uso del gas en los primeros momentos fue que los criados o las amas de casa sufrían accidentes porque no comprendían que el hornillo de gas se podía apagar y encender cuando convenía, contrariamente a la cocina de carbón que se tenía que dejar encendida siempre.

Por eso fue de gran importancia formar a las amas de casa para que hiciesen un uso adecuado de las cocinas de gas. El ahorro en una cocina de gas dependía en gran parte del uso responsable del elemento correspondiente, de la elección de la batería de cocina y del manejo correcto de los quemadores.

Había dos tipos de cocinas de gas. Aquellas en las cuales el fuego estaba abierto, donde cada agujero estaba ocupado por un quemador que podía ser regulado, y las de fuego cerrado o semiabierto donde el fuego estaba cubierto por una placa que se calentaba por la acción de uno o dos fuegos. A simple vista parecería que las cocinas de fuego cerrado tenían que resultar más económicas ya que con pocos quemadores calentarían toda la superficie. Pero no era así, las de fuego abierto funcionaban de manera más racional ya que la llama quemaba directamente sobre la cazuela, de manera que solo se usaba el calor necesario para la cocción. En cambio, en las cocinas de fuego cerrado se perdía mucho calor calentando la placa que se encontraba entre la llama y el recipiente, de forma que esta solo servía, habitualmente, para recalentar pero no para cocer. Para que los quemadores pudiesen transmitir tanto calor a las cocinas

cerradas como a las abiertas hubiesen tenido que quemar a grandes llamas durante toda la cocción y esto hubiese aumentado sobremanera el consumo de gas.



Cocina "Art Nouveau" (Garnier, 1905: 14).

Las primeras cocinas eran de fundición con marcos de hierro pulido, con horno y asador separados y con dos o tres fuegos en la encimera accionados por 3 a 7 llaves de paso. Algunos modelos integraron en un mismo elemento el gratinador y el horno incorporando dos quemadores, uno de llama azul con mezcla de aire, y otro de llama blanca sin mezcla de aire. Los primeros estaban situados fuera del horno, generalmente debajo y tenían un tratamiento similar a los quemadores de la encimera. Servían para (rustir) la carne o hacer pasteles y su efecto era similar al de los hornos de las cocinas económicas de carbón. En la parte superior del horno se situaba una rampa de llama blanca con llama corta para que en

ningún caso se acerque a las paredes ya que las ennegrecería y produciría malos olores. Una llave de paso permitía regular esta rampa superior que tenía como finalidad gratinar y dorar los alimentos. En algunos modelos se incorporaba un pincho para asados donde se ensartaba la pieza de carne y se la hacía girar con una manecilla que quedaba accesible desde el exterior.



Cocina modelo 804 (Brachet, 1926b: 7).

Un modelo más avanzado es por ejemplo el de la figura anterior, el cual tenía una encimera, calienta platos y horno. La encimera estaba cubierta y unida de manera que actuaba como mesa caliente y además facilitaba mucho la limpieza. Tenía tres fuegos con quemadores de pipa, uno de los cuales era simple y los otros dos dobles. Debajo de los quemadores había una placa de chapa galvanizada que permitía con facilidad la recogida y limpieza de los residuos. Entre la encimera y el horno se había previsto un espacio para mantener calientes los platos. El horno tenía una rampa inferior para la elaboración de asados o pasteles y un techo radiante destinado a la confección de gratinados y cuyo calor se recuperaba para el

calienta platos. Con el horno se suministraban algunos accesorios como cazuelas, parrillas y alguna placa de pastelería.

Poco a poco, las ventajas que ofrecía el esmaltado tanto estéticas como de facilidad de limpieza hizo que se fuera imponiendo prácticamente a todas las partes de la cocina.

Así, el modelo de la figura siguiente presentaba una cocina esmaltada también interiormente, con los quemadores de tipo pipa también esmaltados y con las llaves de paso cromadas.



Cocina esmaltada (Brachet 1932: 22).

Las cocinas que se han mostrado hasta aquí eran las más simples, pero había modelos apropiados a todas las necesidades. Por ello se encontraban algunas con fuegos grandes o pequeños, con marmitas, hervidores de agua, freidoras, hornos, asadoras, calienta platos, besugueras, etc.

7. Utilización del gas manufacturado



Cocina meridional con gratinador de pescado
(Brachet 1926a: 43).

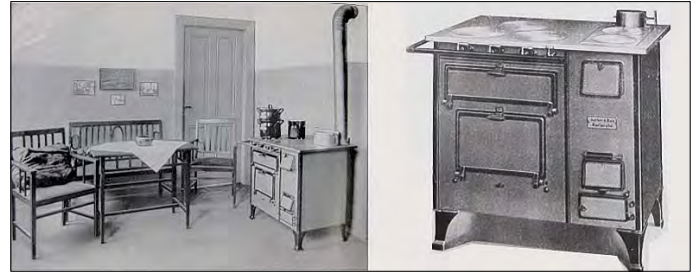
La cocina llamada meridional que se muestra en la imagen anterior tenía la parte superior unida y cubierta, disponía de un horno, de un asador y de un depósito de agua que se calentaba gracias a la recuperación del calor de los gases de combustión del asador y del horno.

También había algunas cocinas que combinaban el gas y el carbón. Se trataba de cocinas mixtas en las que había fogones de gas y hogares de carbón.



Cocina mixta (Brachet, 1932: 30).

En otros modelos, la misma cocina, además de disponer de tres quemadores dobles un armario calienta platos y un horno espacioso, incorporaba en un lateral un espacio para la calefacción con carbón.



Cocina de gas con calefactor de carbón incorporado
(Junker, c. 1930: 2-4).

Este era el caso de la cocina de la casa Junker & Ruh que permitía ser instalada en cualquier habitación de la casa, ya que con el gas se creía que los humos habían sido desterrados definitivamente de las casas.

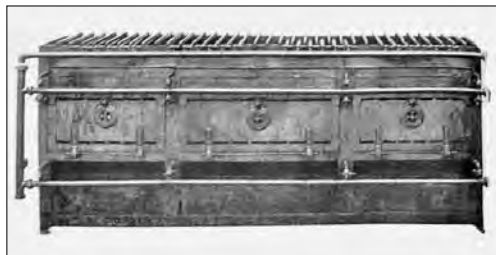
7.3.3. Las grandes cocinas de gas

Para los restaurantes, hospitales o cuarteles las cocinas se hacían a medida, de una sola pieza o incorporando elementos. Para algunas de estas grandes instalaciones se prefería utilizar aparatos separados en lugar de una única cocina. Había aparatos especializados para diferentes usos como calderas, calienta platos, hervidores de agua, aparatos para el baño maría, incluso estufas para esterilizar botellas de leche. Seguramente este campo de las grandes cocinas se desarrolló rápidamente a principios del siglo XX en el sur de Europa en hoteles, hospitales, seminarios, escuelas o conventos debido al ahorro que comportaban

si se utilizaban adecuadamente y se encendían cuando se necesitaban en lugar de mantener el fuego encendido constantemente. Téngase en cuenta que, aunque el precio del gas fuese elevado, se podía mitigar esto si se encendía el gas solo el instante que era necesario, mientras que en una cocina de carbón se requería de una hora y media a dos horas para estar puesta en marcha conllevando este periodo un gasto de combustible no aprovechado.

Un catalogo de 1901 de la casa Leclercq & Cie de París presentaba como novedad una gran cocina de chapa con la encimera de fundición. Se trataba de un modelo especialmente indicado para diversos restaurantes de las Exposiciones Internacionales de París de 1889 y de 1900.

ventaja de esta cocina, de ocho metros de largo, era que se podía desmontar enteramente, ya que los elementos de los hornos se unían con pernos. Esta característica la convertía en una cocina fácilmente transportable.



Gran cocina para hoteles (Garnier, 1905: 60).



Gran cocina (Leclercq, 1901a: 72-73).



Gran cocina de centro para hospitales (Bracher, 1926a: 68).

Incorporaba dos aparatos para el baño maría, una gran parrilla sobre la encimera, cuatro hornos de doble rampa y doble pared, dos calienta platos, un asador gratinador doble y veinte quemadores dobles y dos triples. La

Había cocinas que iban contra la pared, siendo accesibles frontalmente, mientras que otras estaban pensadas para ocupar el centro de la habitación y podían ser practicables por sus cuatro costados.

7. Utilización del gas manufacturado

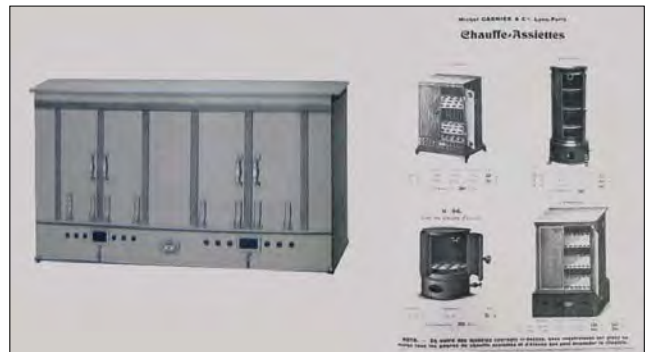


Cocina de diversos elementos (Soleure, 1906: 62).

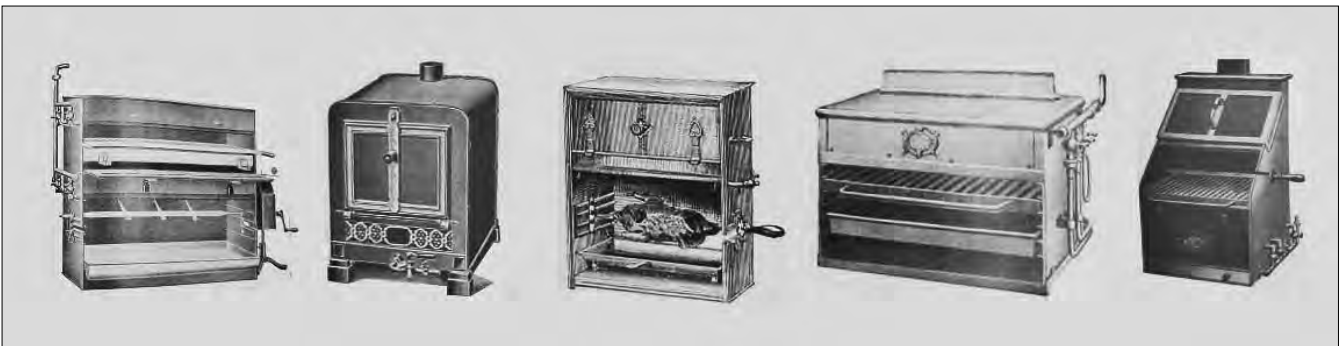
La imagen anterior nos muestra una gran cocina formada por diversos elementos que estaba instalada en Zurich y que servía para unas 600 personas. Tenía una cocina de tres hornos, dos calderas de agua de 100 litros, un recipiente para calentar agua de 50 litros, una encimera de seis fuegos abiertos de diferentes medidas, calienta platos y seis marmitas que iban desde 100 a 200 litros de capacidad

Las mismas casas que comercializaban las cocinas, también vendían, muchas veces por encargo, algunos elementos por separado como hornos para pastelería, gratinadoras, asadoras, salamandras, etc.

Otros elementos comercializados eran los que servían para mantener la comida caliente. Se trataba de los llamados calienta platos. Los había cilíndricos con diferentes estantes para colocar los platos y rectangulares de tipo armario de mayor capacidad. Incluso se comercializaban en grandes dimensiones para restaurantes. Tenían habitualmente un quemador o una rampa, cerrados, situados en la parte inferior o en la parte superior de manera que el calor desprendido calentaba el conjunto.

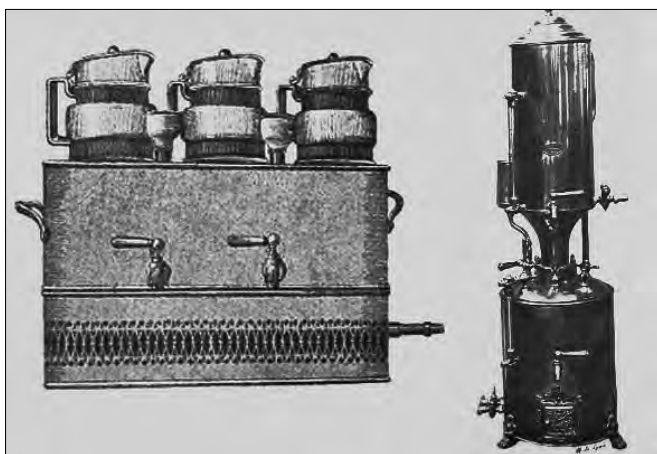


Diversos tipos de calienta platos
(Brachet, 1926a: 80). (Garnier, 1905: 67).



De izquierda a derecha: Asadora restaurante; Horno pastelería; Gratinador-asador; Parrilla-salamandra; Parrilla-bresadora (Branchet, 1926a: 35, 37, 76, 79).

Las grandes cocinas disponían de aparatos para cocer al baño maría y en algunas ocasiones de grandes cafeteras rusas de filtro que permitían obtener una cantidad 5 a 15 litros de café de manera racional y económica. Los baños maría solían ser de cobre pulido o niquelado con dos o tres recipientes. El del dibujo era un modelo perfeccionado que incorporaba un quemador en la parte inferior y un sistema para facilitar el llenado del agua.



A la derecha cafetera rusa, a la izquierda baño maría de tres recipientes (Garnier, 1905. 77, 78).

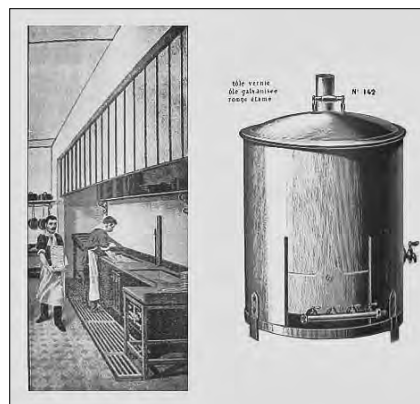
Las cafeteras eran de cobre rojo de diversas medidas. Funcionaban encendiendo el quemador con ayuda de la llave de paso y esperando que el agua hiciese la ascensión desde el recipiente inferior al superior atravesando el depósito del café y el filtro interior. Un silbido indicaba que se había acabado el proceso y que se debía cerrar la llave.

Entre todos estos aparatos, precedentes de algunos electrodomésticos actuales, hay que destacar las marmitas que funcionaban como

primitivas ollas a presión. En las grandes cocinas se disponía de grandes calderas o marmitas que servían tanto para calentar agua como para cocer algunos alimentos. El agua caliente era necesaria principalmente para lavar los platos, en ese sentido también se comercializaban fregaderos calientes y fríos con escurrer platos, como los que se muestran en el dibujo, fabricados como equipamiento adicional de la cocina. Pero lo más habitual era disponer de ollas o calderas que sirviesen también para cocer legumbres o carne. Si tenían dimensiones especiales se utilizaban para productos de charcutería, tripería o incluso las de dimensiones mayores se destinaban para los mataderos.



Caldera o marmita (Garnier, 1905: 75).



Fregadero caliente a la izquierda y caldera grande a la derecha (Bracher 1926a: 74, 75).

Se trataba básicamente de calderas de cobre rojo estañado o barnizado que contenían cuatro coronas de quemadores concéntricos que calentaban el líquido de su interior. Si su capacidad era de 150 litros, su consumo

aproximado era de 3 m³/h para cada quemador. También estos aparatos se fabricaban por encargo adaptando su forma y dimensiones a las necesidades del cliente. Sin embargo, el catálogo de Micher Garnier de 1905 afirmaba que aun teniendo un gran número de aplicaciones era un aparato poco difundido debido, en buena medida, a que el elevado precio del gas generaba una cierta desconfianza entre los industriales de la restauración.

Conscientes de estas dificultades, la casa Soleure comercializó en 1906 una marmita basculante especialmente indicada para grandes establecimientos. Se trataba de una gran olla, de 15 a 400 litros de capacidad, que servía para cocer alimentos gracias a que en su pie disponía de unos quemadores accionados por una llave de paso.

daban un buen resultado cocinando para 250 a 300 personas. Algunas tenían un dispositivo de auto cocción consistente en que el diseño de las paredes era tal que mantenían el calor después de iniciada la cocción de manera que se podían apagar los quemadores y la olla continuaba funcionando con el calor residual que había quedado acumulado en sus paredes. Esta marmita se asemejaba a lo que más tarde serán las ollas a presión y daba lugar a un ahorro de tiempo y de combustible.

7.4. La calefacción con gas

Dado que la combustión del gas produce una considerable cantidad de calor, esta fuente de energía resultaba especialmente idónea



A la izquierda marmita menor de 50 litros y a la derecha una de más de 50 litros (Soleure, 1906: 42-44).

En las de mayores dimensiones, el gas se introducía por las columnas del mecanismo basculante hasta el quemador que también estaba situado en la parte inferior de la marmita. En la cocina del Hospital Epiléptico de Zurich se instalaron marmitas de este tipo que después de cinco años de funcionamiento

para ser utilizada como combustible para calefacción. Sin embargo, en las últimas décadas del siglo XIX, las casas estaban equipadas con chimeneas de carbón o de leña, las cuales emitían a la atmósfera los gases resultantes de la combustión. Este era el sistema más habitual de calefacción y la introducción de una nueva

fuelle de energía no resultaba una tarea fácil. No ha de extrañar, por eso, que los primeros intentos consistiesen en conseguir con el gas un resultado similar a lo que se obtenía con el carbón o la leña. Poco a poco se fueron introduciendo diversos tipos de estufas de gas entre los que destacaremos principalmente tres: Las chimeneas antes citadas, los caloríferos y los radiadores.

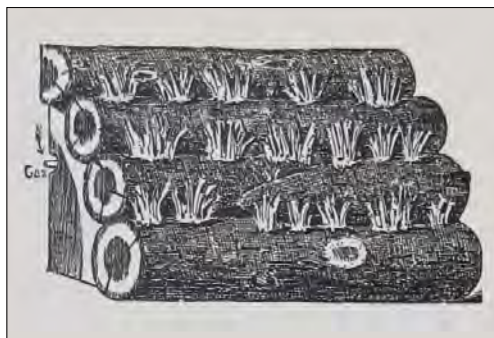
7.4.1. Las chimeneas

Las primeras estufas de gas se construyeron para ser ubicadas en el hueco de la chimenea y adoptaron la forma más semejante a un hogar de carbón o de troncos de madera, como la que desarrolló y comercializó William Sugg y que le puso el nombre de “Charing Cross” que era, precisamente, la dirección de una conocida sala de exposiciones de Londres situada en el número 1 y 2 del Grand Hotel Buildings, en Charing Cross, W.C.



Chimenea Charing Cross
(<http://www.williamsugghistory.co.uk/gasfirespre1910.htm>).

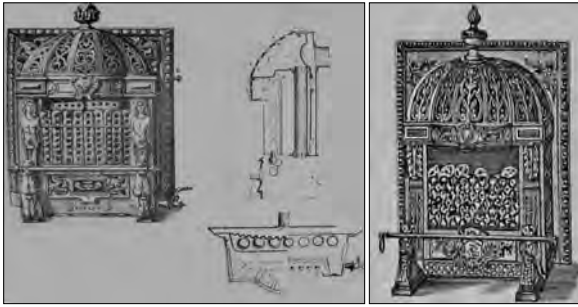
Al 1901, la empresa de Leclercq & Cia de París comercializaba lo que se llamaba fuego visible o bocas refractarias. Se trataba de unos troncos de tierra refractaria que simulaban leña o unas bolas de amianto que simulaban carbón y que ocultaban unos quemadores de gas. Su finalidad era ser ubicadas en los hogares de las chimeneas provistas de instalación de gas.



Fuego visible (Leclercq, 1901b: 87).

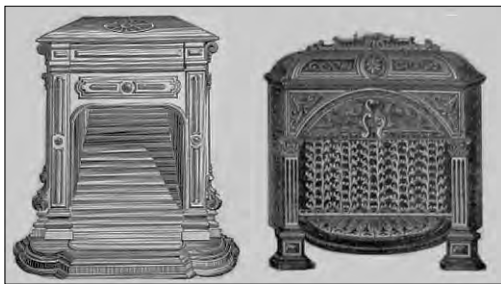
Entre las primeras estufas de gas que se comercializaron destacó la denominada Chimenea Renacimiento, la cual se podían ubicar en el agujero de una chimenea y tenía un quemador de gas en la parte inferior que al encenderse calentaba el aire situado en la parte frontal que simulaba los troncos o el carbón. Estos gases, producto de la combustión, eran enviados por convección natural al exterior. Pero antes de esto, se les hacía seguir un recorrido de manera que envolvían los canales por los que ascendía el aire limpio del exterior. Con ello se buscaba aprovechar el calor de la combustión para calentar el aire limpio antes de ser enviado a la habitación. Este aire caliente entraba a través de las rendijas de la cúpula que coronaba la chimenea y que simulaba la construida por Brunelleschi en Florencia en el siglo XV.

7. Utilización del gas manufacturado



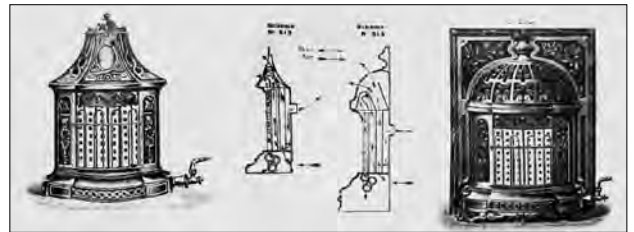
Chimenea Renacimiento
(Brachet, 1926a: 117; Garnier, 1905: 88).

Los otros modelos de chimeneas que fueron surgiendo en el mercado eran muy similares a la anterior. Tenían un hogar circular compacto que proporcionaba una gran cantidad de calor. Este se transmitía de dos maneras, por convección mediante el flujo de aire caliente que salía por las oberturas superiores y por radiación de los elementos refractarios del hogar que, simulando troncos o carbón, se ponían incandescentes por contacto con el fuego emitiendo calor. Las formas y materiales que conformaban este material refractario fueron perfeccionándose con la intención de que se tornase más incandescente e incrementara así la radiación.



Chimeneas con reflector y con hogar de coral
(Leclercq, 1901b: 93; Garnier, 1905: 86).

En los esquemas y las imágenes anteriores se muestran las secciones transversales y dos modelos de chimeneas Luís XVI y Silva que cumplían las características indicadas. Entre las diversas mejoras introducidas en las chimeneas hay que destacar el hogar de coral, el de imitación de coque, el de reflector de cobre o los tubos de incandescencia.



Chimeneas Luis XVI y Silva
(Brachet, 1926a: 115).



Chimeneas con imitación de coque y
tubos de incandescencia
(Leclercq, 1901b: 87; Brachet, 1932: 31).

Respecto al uso de tubos de incandescencia o irradiadores hay que decir que consistían en dos cilindros concéntricos. El interior era de chapa de cobre perforada y estaba destinado a producir una mezcla íntima entre el gas y el aire. El exterior era de tierra refractaria porosa y allí se producía la combustión de la mezcla tornándolo incandescente. Su consumo no era alto por lo que convertía las chimeneas en bastante económicas.



Irradiador para estufas Vulkan (Clamond, 1902: 4-5).

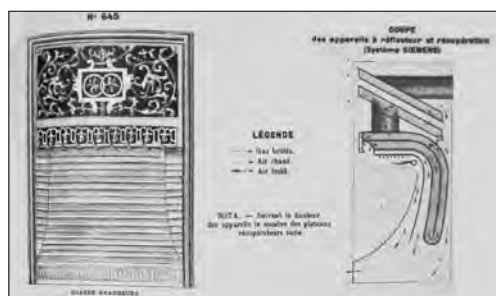
El caso más destacado de aplicación de irradiadores era el de las estufas Clamond. Con estos aparatos, más higiénicos que si utilizasen combustible sólido, se conseguía que la combustión del gas fuese completa, que se generase una calefacción uniforme y sin que desprendiesen residuos nocivos o peligrosos para la respiración. Además estas estufas producían una gran cantidad de calor de manera muy rápida. La combustión completa se efectuaba con un tipo de mechero Bunsen que arrastraba un volumen de aire mayor cinco veces y media que el gas inyectado de manera que la mezcla obtenida contenía suficiente oxígeno para poder quemar completamente en un recipiente cerrado. En España las comercializó la Sociedad Anónima de Luz y Calor quien solicitó las patentes de invención correspondientes. Otro tipo de estufas de cuerpos cerámicos incandescentes y mechero Bunsen fueron las que comercializó en el período entre guerras la casa Prometheus.



Estufas de cuerpos cerámicos (Prometheus, c.1930: 18-19).

Respecto al material en que se construían las chimeneas, la evolución fue muy similar a la de las cocinas. Se pasó del predominio de la fundición a la paulatina introducción de barnizado y posteriormente del esmaltado. También las hay que combinaban el mármol, la loza o la cerámica y que utilizaban el cobre principalmente en los reflectores.

En el esquema siguiente se puede ver con detalle el papel del recuperador o reflector introducido por la casa Siemens.



Esquema de reflector (Brachet, 1926a: 137).

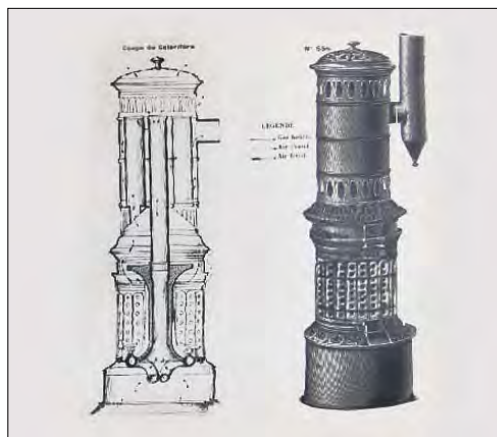
Estaban fabricados en plancha de cobre rojo y su finalidad era alargar el recorrido del aire para que estuviese más tiempo en contacto con los gases calientes de la combustión antes de ser lanzados al exterior.

7.4.2. Los caloríferos o estufas

Además de las chimeneas, desde mediados del siglo XIX, se inventaron unos aparatos que se denominaron caloríferos que tenían como principal objetivo calentar el aire de una habitación mediante la combustión del gas. Estos aparatos se basaron en los caloríferos, estufas y braseros que se utilizaban anteriormente y que producían calor quemando combustible sólido (Lefèvre, 1893: 95). Entre las primitivas patentes destacaba el calorífero de Cox formado por un cilindro vertical aislado por la parte inferior donde había los quemadores que calentaban el aire fresco que entraba por abajo y ascendía por los tubos para salir por la parte superior. El que inventó el Dr. Bond disponía de cuatro cilindros verticales concéntricos de forma que el aire circulaba por unos tubos hacia arriba y seguía por otros hacia abajo para recuperar al máximo el calor de la combustión (Wright, 1966: 178).

El esquema que se muestra a continuación describe la circulación del aire a través de un calorífero de tipo abierto. En él se puede ver que la entrada del aire exterior se produce primero por la parte baja del mismo siendo conducido por el tubo central. También entra aire por la corona agujereada situada en la parte central, el cual es conducido por los otros dos tubos laterales. Este aire caliente, menos denso que el frío, sube por convección natural hasta la parte superior del calorífero por donde sale para

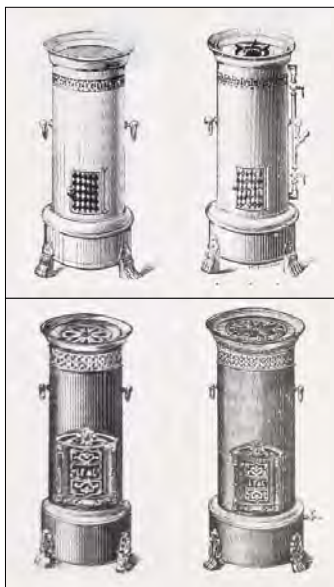
calentar la habitación. El quemador es circular y está situado también en la parte inferior. Allí es donde se produce la combustión después de mezclarse el gas con el aire que se introduce por las rejillas que envuelven el quemador. Los gases de combustión calientes circulan por la parte exterior de los tubos cediéndoles el calor y salen por una chimenea de evacuación al exterior a fin de evitar que entren en contacto con el aire caliente que se introduce en la habitación.



Esquema de un calorífero (Brachet, 1926a: 124).

Sin embargo, los primeros caloríferos eran cerrados, es decir, que no tenían sistema de eliminación de los gases de la combustión. Estos, junto con el aire que arrastraban, se utilizaban para la calefacción del local. Eran de cobre pulido o niquelado y tenían la puerta del hogar de fundición decorada. También había algunos caloríferos de chapa negra esmaltada en azul o en rosa para imitar la cerámica vitrificada. Estos últimos se solían poner en los cuartos de baño. Otros se

fabricaron con una columna de aire central separada, por lo cual disponían de una mayor superficie de calefacción. Además, tenían en la parte superior una superficie circular para que se pudiese aprovechar el calor para otras actividades domésticas como calentar agua.



Los dos de la arriba son caloríferos cerrados y los de abajo tienen columna central de aire (Leclercq, 1901b: 84).

Otros caloríferos en lugar de un tubo central tenían un reflector plano de cobre que proporcionaba al aire un recorrido más largo con el fin de aprovechar mejor el calor de la combustión. De ellos, el más evolucionado era el calorífero parabólico en el que el reflector tenía una forma de paraboloide para facilitar la recuperación mejor del calor. En la imagen hay uno que además posee en la parte superior un recipiente para calentar agua.

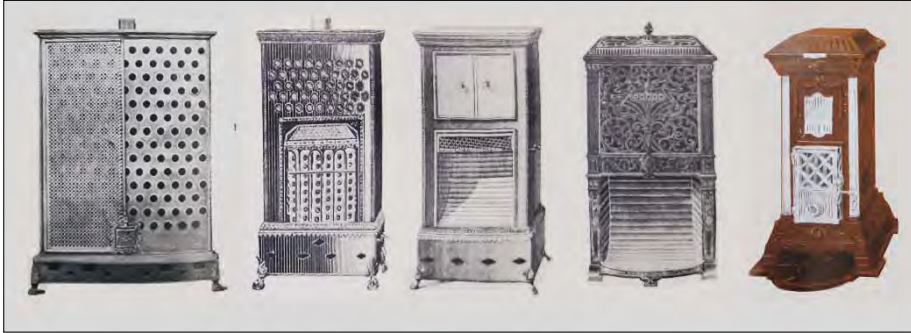


Arriba: Caloríferos con reflector, el tercero por la izquierda además con recipiente de agua y el cuarto, parabólico. Abajo: Caloríferos decorados con hierro forjado. Calorífero “El Incandescente”. (Leclercq, 1901b: 85, 86, 88).

Si además de la eficiencia se buscaba la estética, el calorífero podía ser de hierro forjado y tener unos mecheros de vidrio de color rojo rubí para simular el efecto del fuego. Con fuego visible era también el modelo de la derecha que se llamaba calorífero “El incandescente” y que tenía una parte central semitransparente fabricada de mica que permitía visualizar el fuego del quemador. Proporcionaba una gran capacidad calorífica ya que, si tenemos en cuenta lo que nos dice el catálogo, podía calentar una habitación de 150 m². Hay que decir, sin embargo, que algunos de los caloríferos que se presentaban en los catálogos no estaban disponibles sino que se fabricaban por encargo.

Los caloríferos también se construyeron de forma rectangular y fue entonces que empezaron a denominarse estufas y se comercializaron para ser instalados en iglesias, escuelas, teatros o restaurantes.

quemador y en la parte superior por otro elemento común, a través del cual salía el aire caliente. El calor de la combustión ascendía por el tubo exterior envolviendo el tubo interior por el que circulaba el aire limpio para



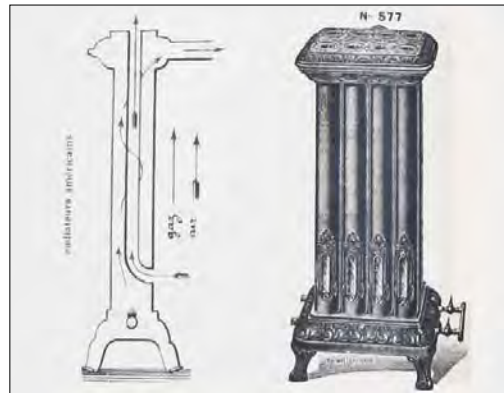
Diversos modelos de estufas (Garnier, 1905: 90; Brachet, 1926a: 124; Brachet, 1932: 39).

Los primeros de este nuevo modelo se asemejaban a las chimeneas porque imitaban el hogar de carbón y en algunos casos incorporaban un armario en la parte superior para calentar la ropa o los platos. Los más modernos estaban esmaltados y utilizaban gas como combustible, pero podían fabricarse para funcionar con carbón o incluso con leña.

7.4.3. Los radiadores

El tercer tipo de estufas eran los radiadores, llamados inicialmente caloríferos tubulares y posteriormente radiadores americanos. El principio de funcionamiento no difería demasiado de los caloríferos, como se puede ver en el esquema adjunto.

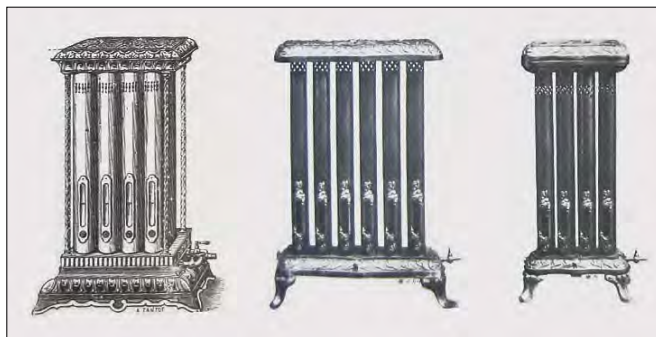
Los radiadores estaban formados por tubos concéntricos unidos en la parte inferior por un elemento común o zócalo que alojaba el



Esquema de un radiador (Brachet, 1926a: 126).

salir luego al exterior del local. El aire limpio se calentaba al pasar por el tubo interior y salía por unos orificios situados en el elemento común superior. El principio seguía siendo el mismo, intercambiar el calor entre los gases de combustión y el aire, evitando en la medida de lo posible el contacto entre los unos y los

otros. Sin embargo no todos los modelos tenían dispositivo para liberar los gases de la combustión. De los que se ven en las imágenes siguientes, el de la izquierda tenía el zócalo y el elemento superior de fundición y se comercializaba barnizado, esmaltado, niquelado o de cobre. Tenía cuatro tubos y el mechero era de mariposa montado sobre rampa situada bajo cada tubo. La llama era blanca y con ella se calentaba el aire que circulaba por los tubos el cual salía por la parte superior junto con los gases de la combustión que, en este modelo no se liberaban al exterior.



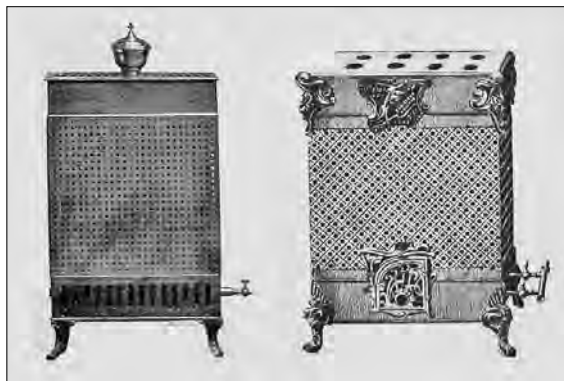
Radiador de fundición
(Leclercq, 1901b: 86).

Radiadores Art Nouveau
(Garnier 1905: 93).

En cambio, los radiadores de la derecha llamados “Art Nouveau” tenían tubos de liberación de gases de combustión de manera que los productos de la combustión se reunían en el elemento superior y de allí eran conducidos al exterior.

Los radiadores más modernos eran rectangulares y guardaban similitud a los caloríferos antes citados. Tenían dos hileras de tubos verticales con lo cual se incrementaba considerablemente la superficie de transmisión de calor.

La llama era azul, cosa que significaba que se había producido una mezcla íntima de gas y aire antes de la combustión. Los productos de la combustión se reunían en un colector y se evacuaban al exterior. Se llamaban escolares debido a la protección exterior que llevaban para evitar accidentes y quemaduras.

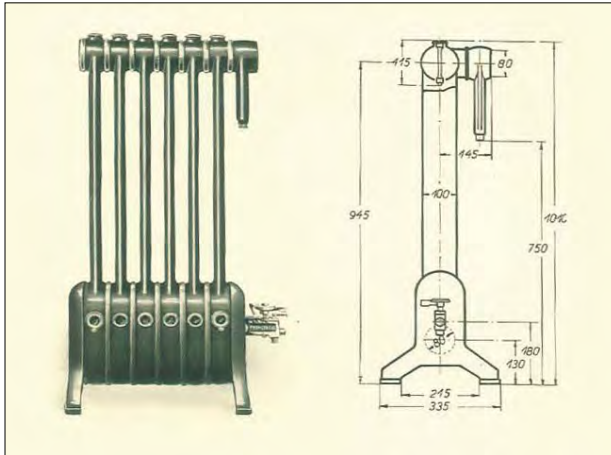


Radiadores rectangulares
(Garnier, 1905: 91; Brachet, 1926a: 127).

Otro modelo, más específico, comercializado por la casa Prometheus en el período entreguerras era el radiador de cámara de llama cerrada. Se caracterizaba porque el mechero se encontraba cerrado en una cámara inferior. Ahora bien, como para la combustión se requería una cierta cantidad de aire fresco esta cámara tenía una abertura, situada a veces en el pie de la estufa, en su extremo inferior o en su parte trasera para que entrase aire, bien procedente de la misma habitación o de una contigua.

La finalidad de estas estufas era evitar el acceso del aire de la habitación a las llamas, cosa conveniente en quirófanos, laboratorios u otros establecimientos en los cuales el aire

7. Utilización del gas manufacturado



Radiador de llama cerrada (Prometheus, c.1930: 11).

podía mezclarse con gases explosivos o muy inflamables. Por ello solía cogerse el aire de la habitación contigua y se evacuaban los gases de combustión a través de una chimenea al exterior. También se recomendaban estos radiadores para escuelas, talleres, prisiones y cualquier lugar donde fuese necesario impedir el acceso a la llama.

7.4.4. Los calentadores

A mediados del siglo XIX, por la misma época que se comenzaba a utilizar el gas para calentar aire, también se pensó en destinarlo a calentar agua para usos sanitarios. Estos aparatos se llamaron calienta baños y se basaban en el principio de calentar el agua mediante los gases de la combustión del gas en un quemador. Sin embargo, los primeros modelos mezclaban los humos con el agua con lo que el resultado no era muy limpio.

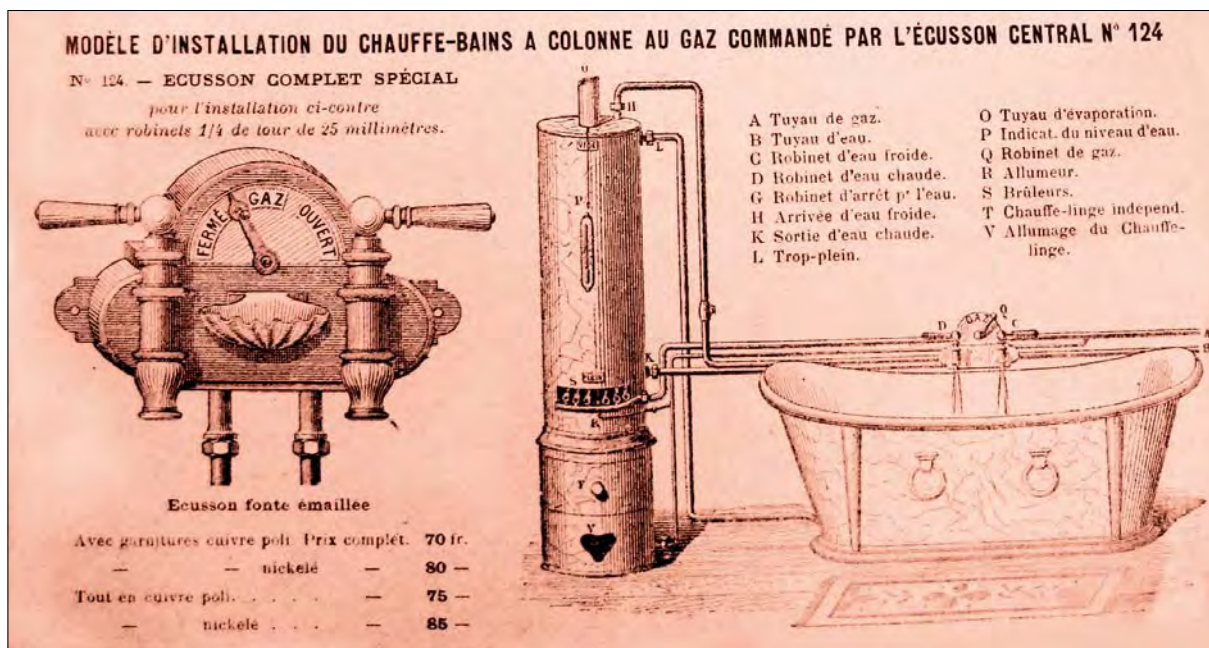
Por eso, las mejoras se encaminaron a inventar mecanismos que permitiesen obtener un agua poco sucia que pudiese ser usada en el baño.

En 1888, William T. Sugg patentó una bañera llamada Sabrina que llevaba incorporado un calentador en su parte inferior y calentaba un



Bañera Sabrina (<http://www.williamsugghistory.co.uk/water-heating-pre-1910.htm>).

haz de tubos de manera que el agua circulaba por convección natural. Así pues, el agua fría entraba en los tubos situados debajo de la bañera y se calentaba por la acción de un número considerable de llamas que conformaban el quemador. Cuando el agua estaba caliente, debido al cambio de densidad, ascendía mientras que el agua fría descendía introduciéndose en los tubos.



Esquema de instalación de agua caliente
(Leclercq, 1901b: 3).

Poco a poco la idea de aislar el circuito del agua del de los gases de combustión se fue imponiendo de manera que el agua se hizo circular a través de los tubos de un serpentín consiguiéndose así un agua limpia y caliente. El calienta baños solía tener forma cilíndrica y se colocaba en el cuarto de baño al lado de la bañera. De manera que el agua fría se introducía por la parte superior, descendía por el serpentín que estaba situado en el cuerpo superior y se iba calentando gracias al calor producido por la combustión del gas del quemador situado en la parte inferior. Era necesario abrir el agua primero para que esta circulase y a continuación encender el

quemador. De esta manera al cabo de unos breves minutos salía agua caliente entre 35 y 50° C que iba a parar a la bañera o a una ducha.

El modelo de la figura tiene un quemador en la parte central que es el que calienta el agua y una llama en la parte inferior que sirve para calentar la ropa situada en un cajón ubicado en la parte inferior. En este modelo el quemador está fijo, aunque se fabricaron modelos en que los quemadores eran móviles. Tanto unos como los otros proporcionaban agua tan pura, dado que no había tenido contacto con los gases de la combustión, que podía ser utilizada en la cocina. Algunos



Calentadores con quemador móvil (Leclercq, 1901b: 1).

modelos tenían las llaves de paso dispuestas de manera que no era posible abrir el gas antes que el agua y no se podía cerrar el agua cuando el gas estaba abierto, evitando con ello accidentes no deseados.

El de la derecha calentaba en 1 minuto 14 litros de agua a 36°C que era la cantidad que se considera necesaria para 10 minutos de baño y consumía 4 m³/h.

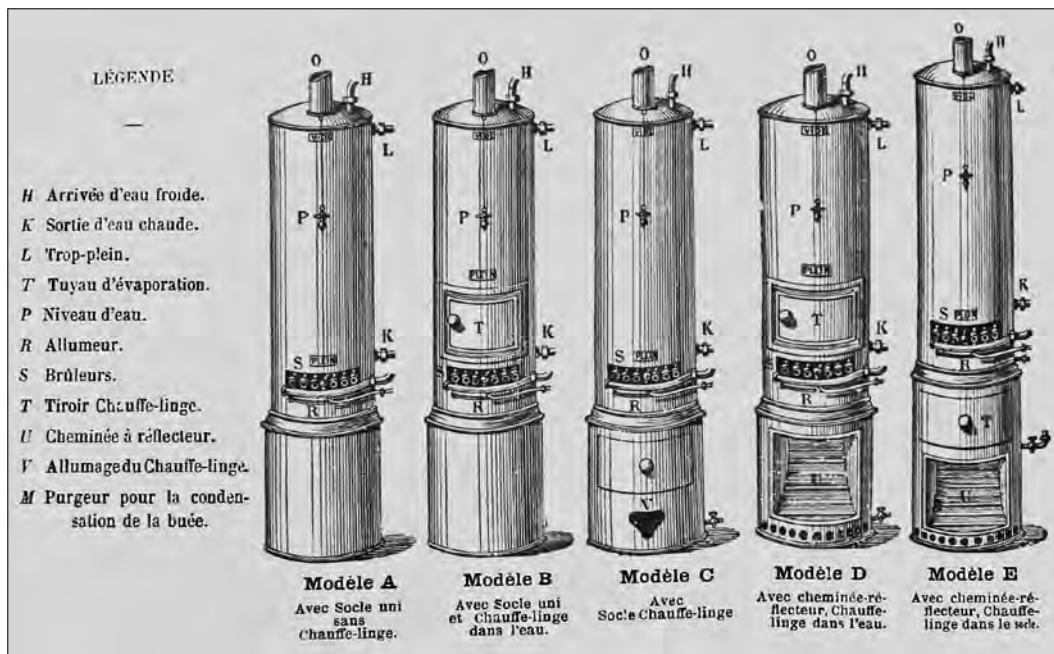
Los calienta baños con quemador móvil presentaban un mayor ahorro al disponer de un mechero central que permitía obtener una llama de encendido sin necesidad de estar obligado a encender todo el conjunto de quemadores a la vez. No producían detonación en el momento del encendido y resultaban muy prácticos para la limpieza y reparación.

Las figuras siguientes presentan dos tipos de calentadores de quemador móvil en los que no solía ser habitual que llevaran incorporados calienta ropas.

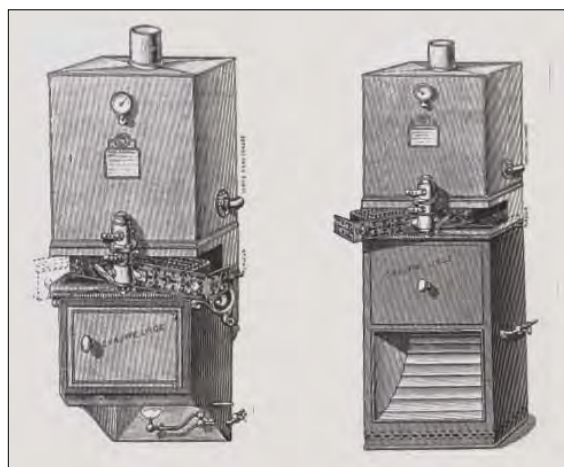
Sin embargo para los modelos de quemador fijo se comercializaban unos zócalos que permitían calentar la ropa. Así, por ejemplo para los modelos de columna con tres cuerpos concéntricos, llamados de triple cuerpo, había diferentes modelos con zócalo unido con o sin calienta ropa. Algunos tenían el calienta ropa dentro del agua y otros lo ubicaban sobre un reflector de recuperación del calor. Todos estos modelos se recomendaban por su gran superficie de calentamiento que era superior a los de cuerpo simple.



Diversos modelos de calentadores de agua (Leclercq, 1901a: 98; Soleure, 1906: 40).



Modelos de calentadores con calienta ropa
 (Leclercq, 1901b: 105).

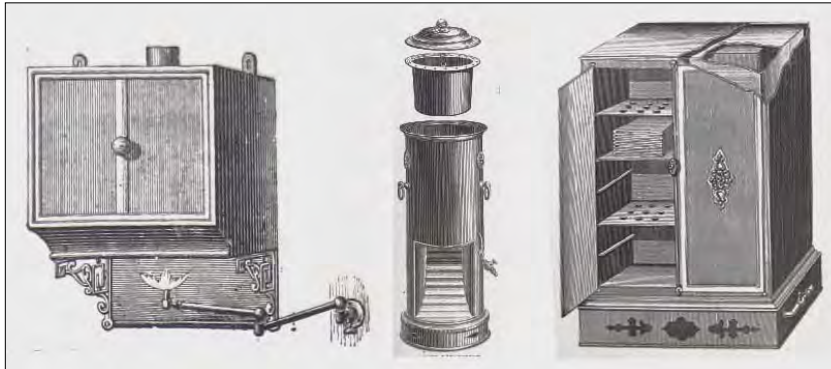


Calentadores rectangulares (Leclercq, 1901b: 102).

No todos los calentadores eran cilíndricos, también se comercializaron algunos modelos rectangulares con quemador móvil que por su forma se podían situar mejor contra la pared o en un ángulo.

Se fabricaron también elementos adicionales como consolas calienta ropa o incluso reflectores para incrementar la recuperación del calor de los gases de combustión.

Los calienta ropa, que eran de gran utilidad en los países fríos, tenían como finalidad calentar la ropa que se solía utilizar en el baño, como las toallas. Se comercializaban con o sin reflector y de forma cilíndrica o rectangular. Había modelos de grandes dimensiones que se aplicaban a hospitales,



Calienta ropas (Leclercq, 1901: 93).

hoteles o establecimientos de baño. Estos tenían forma de armario de tres envoltentes por entre las cuales circulaba el aire caliente y con diversos estantes para depositar las prendas de ropa.

7.4.5. Aplicación del gas para la calefacción central

Los aparatos de calefacción que hemos descrito hasta aquí constituyen sistemas de calefacción local ya que solo sirven para calentar la habitación donde se ubican. Sin embargo, había otros métodos en los cuales el calor se transmitía mediante otro vehículo desde el hogar situado fuera del local a calentar hasta las diferentes habitaciones. Se trataba de la calefacción central. El fluido que transportaba el calor solía ser agua, vapor de agua o excepcionalmente el mismo aire.

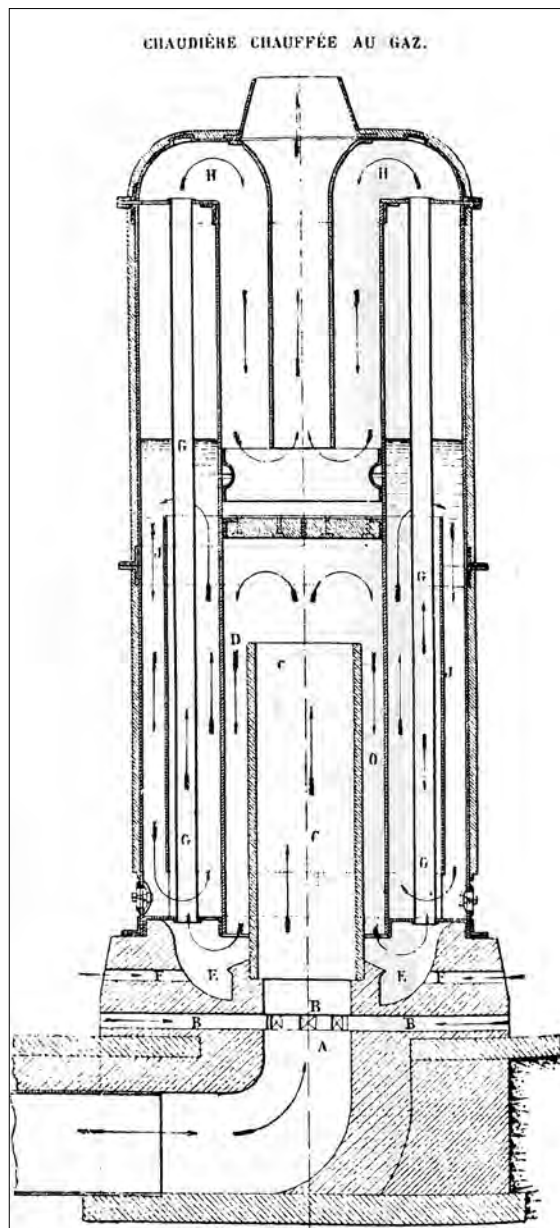
El sistema de calefacción central no era nuevo, los romanos ya lo habían utilizado en los baños públicos distribuyendo aire caliente mediante conductos. Pero, ni en los castillos medievales

ni en los palacios Renacentistas se volvió a aplicar un sistema similar. Fue en 1594 que Sir Hugh Platt (1552-1611), durante el reinado de Elisabeth I sugirió calentar un invernadero mediante vapor. En 1745 el coronel Cook mejoró esta idea inventando una máquina para calentar ocho habitaciones mediante tubos fijados a las paredes (*Philosophical Transactions*, 1744 - 1745: 370-372). Sin embargo la calefacción con vapor tuvo poca implantación inicialmente en Europa y en cambio gozó de mucho éxito en los Estados Unidos. En 1880, muchas compañías americanas distribuían vapor de calefacción entre diversos usuarios (Wright, 1966: 192). Este proceso fue ideado por Birdsill Holly (1820-1894), un prolífico inventor americano, quien lo aplicó en diversas ciudades como Springfield, Denver, Detroit, Lynn, Auburn en donde el vapor producido por unas calderas de la estación central era enviado mediante tubos a casa de los consumidores. En Lockport (Illinois) ese año de 1880 había unos 300 abonados a los que se les suministraba vapor mediante una red de tuberías de una longitud aproximada de 4 millas (Lefèvre, 1893: 205).

Las primeras instalaciones de calefacción central no tenían el gas como fuente de energía debido a su precio elevado y utilizaban combustible sólido como el carbón. Además no utilizaban aire como fluido portador sino principalmente agua. Los aparatos de agua caliente comprendían una caldera destinada a elevar la temperatura, unos tubos de distribución del líquido, unos receptores destinados a retener el agua caliente el tiempo necesario para que cediese el calor y algún otro accesorio como un vaso de expansión para evitar la dilatación. La caldera utilizada en este sistema era similar a la de una máquina de vapor aunque se construyeron algunas específicas más simples para usos domésticos.

Se distinguían dos tipos diferentes de calefacción central por agua caliente: los de calefacción sin presión y los de presión alta o media. En los primeros la presión interior en cada punto del circuito era aproximadamente la misma que la atmosférica o un poco superior. En los segundos la presión era 1,5 ó 2 veces la atmosférica para la media presión y más de dos para la alta presión. En la calefacción sin presión el agua caliente no podía proporcionar más que pocas calorías, la velocidad de la corriente de agua era pequeña y se requerían tuberías de diámetro grande. Por eso se la conocía como calefacción por gran volumen. En cambio, si la presión era media o alta el agua podía ceder el doble o triple de calorías, la velocidad de circulación era mayor y se podía reducir el volumen de agua dando a las tuberías una sección menor. De aquí que se la conociese como calefacción de pequeño volumen (Lefèvre, 1893: 166).

En 1890, el *Journal des Usines de Gaz* describía una caldera calentada por gas sistema Thwaite en la cual la combustión se producía en una



Caldera de gas sistema Thwaite (Journal, 1890: 172).

cámara A situada en la parte inferior a la que accedía el gas después de mezclarse con aire que penetraba de manera uniforme y circularmente por los conductos B en cuya altura se producía la combustión. La llama producida subía por el interior del tubo de tierra refractaria C que se ponía al rojo blanco. Después superaba los extremos de este tubo y descendía por el espacio anular D que quedaba entre la chapa de la caldera y el tubo. De esta manera se conseguía un contacto íntimo con la superficie repleta de agua. La combustión acababa en el conducto anular E donde entraba también aire por los conductos anulares F. Los productos de la combustión subían por el haz tubular G para acceder a la cámara H y salir por el tubo I. En esta última parte de trayecto recalentaban el vapor dejando todo su calor residual (*Journal*, 1890: 172).

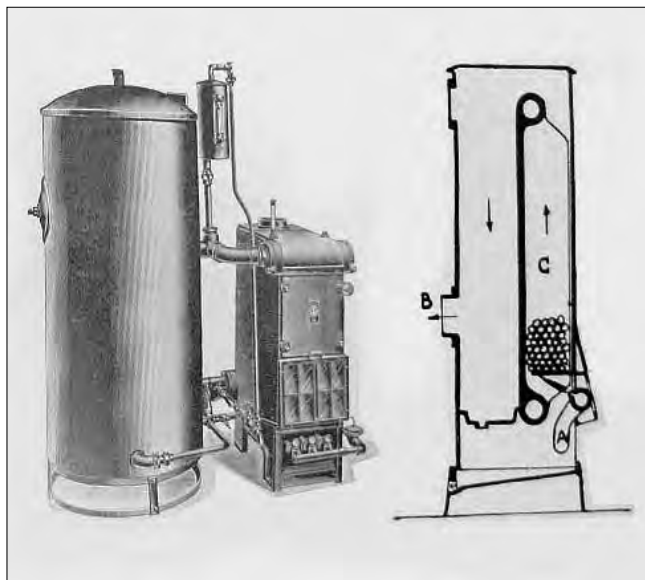
Esta caldera podía ser utilizada para producir vapor tanto para usos industriales como domésticos.

Hacia 1920, la calefacción central para apartamentos había conseguido un desarrollo considerable. La posibilidad de instalar en un local cualquiera una caldera de un volumen reducido favoreció la difusión de este procedimiento. Si además la caldera era de gas, se evitaban los problemas que suponía el uso de combustible sólido como el hecho de que estuviese encendida permanentemente. Solamente de esta manera, encendiendo la caldera de gas cuando se requería, es decir ajustando el consumo a la potencia calorífica demandada, se podía reducir el gasto hasta convertir el gas en competitivo respecto del combustible sólido.

Vamos a describir sucintamente algunos de los modelos disponibles en las primeras décadas

del siglo XX. Primero veremos la caldera Phi de mayor capacidad indicada para la calefacción de pabellones y la Phiradia, para apartamentos, oficinas y tiendas.

La caldera Phi estaba formada por un conjunto de secciones de fundición unidas de manera que su potencia se podía incrementar con tal de añadir un mayor número de estas. El hogar de la caldera estaba formado por una serie de quemadores fijos de llama azul. Los productos de la combustión se canalizaban a través de unos apilamientos de material refractario situado directamente sobre el quemador que facilitaba el contacto íntimo con los gases calientes. Esta caldera podía ser utilizada tanto con agua como con vapor y tenía incorporado un termostato que facilitaba la reducción del consumo de gas.



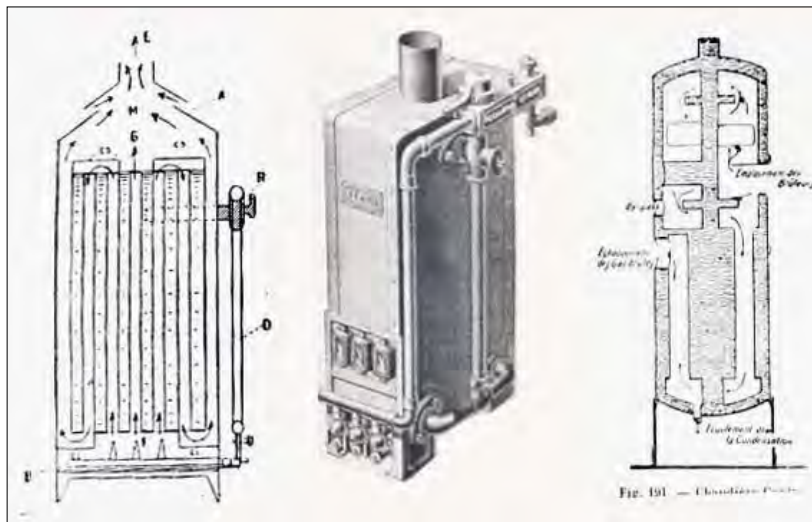
Caldera Phi con recipiente acumulador de agua caliente y caldera Phiradia (Biard; Grangette, 1926, II: 89).

Estas calderas se construyeron a partir de 11.000 calorías, con dos quemadores y con un consumo máximo de 3,2 m³/h, hasta 132.000 calorías con 24 quemadores y 38,4 m³/h. Cuando, de trataba de locales pequeños se utilizaba la caldera Phiradia que era más simplificada y no tenía termostato. Su funcionamiento se asemejaba al de un radiador.

Otro tipo de caldera de agua caliente fue la llamada intensiva y que estaba formada por un cuerpo interior atravesado por un haz de tubos por el exterior de los cuales circulan los gases procedentes de la combustión y por su interior, el agua que se calienta. Esta caldera se comercializaba para potencias de 5.000 a 30.000 calorías

La Société Francaise d'Incandescence par le Gaz comercializó una caldera llamada estándar sistema Auer destinada también a calefacción

por agua caliente. Esta también era de elementos yuxtapuestos, tenía quemadores de llama blanca y un termostato que funcionaba mediante la diferencia de coeficientes de dilatación del latón y del acero. A pesar de usar llama blanca esta caldera tenía un mantenimiento sencillo y un rendimiento de más del 75%. Finalmente, otra caldera fue la de sistema G. Cantais, que estaba formada por un cuerpo cilíndrico vertical de acero en cuya parte superior se situaban unos depósitos cilíndricos en los que hervía el agua. El quemador estaba situado a media altura, eran de llama azul y llevaba unos reguladores que evitaban que se produjese la extinción total de la llama. Esta caldera tenía unas potencias que oscilaban entre 5.000 y 7.000 calorías. Si en lugar de agua producían vapor, su potencia podía ascender hasta las 120.000 calorías para baja presión y 228.000 para alta (Biard; Grangette, 1926, II: 83-99).



Caldera intensiva AM, caldera sistema Auer y caldera sistema G. Cantais
(Biard; Grangette, 1926, II :76, 91, 92).

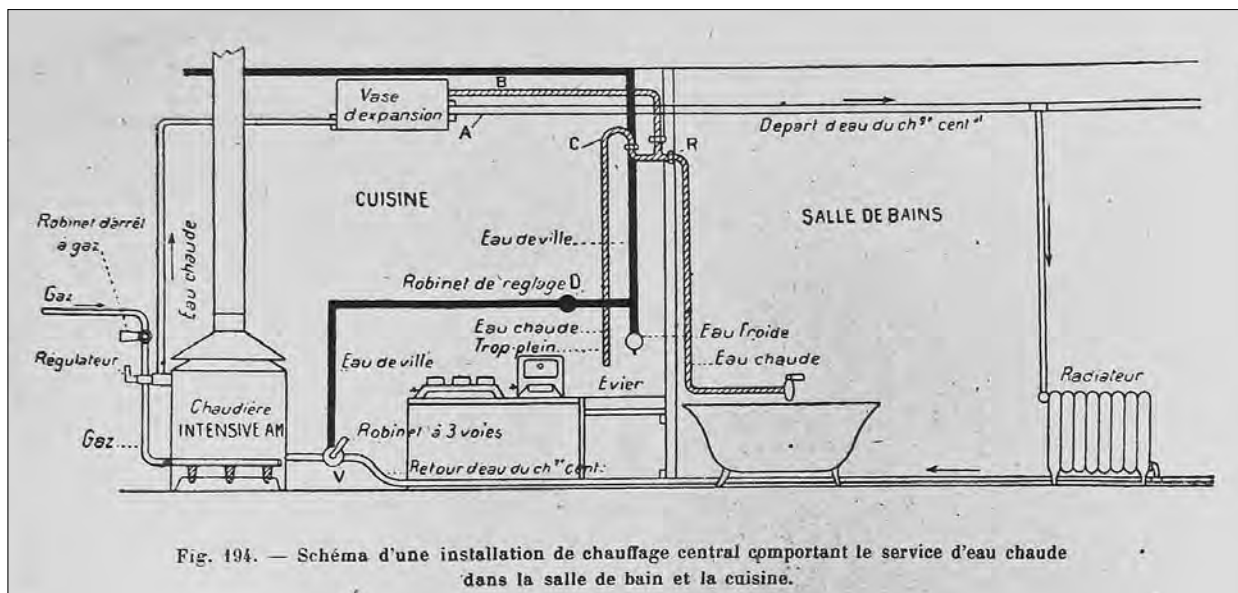


Fig. 194. — Schéma d'une installation de chauffage central comportant le service d'eau chaude dans la salle de bain et la cuisine.

Esquema de calefacción central (Biard; Grangette, 1926, II: 98)

Todos estos aparatos podían utilizarse como generadores de agua caliente y producir simultáneamente calefacción y agua caliente para lo cual se conectaba la caldera a un caliente baños como se puede ver en el esquema anterior.

7.5. Algunos usos del gas en talleres, laboratorios e industrias

Las redes de gas se extendieron en primer lugar para cubrir las necesidades del alumbrado público. Pero, poco después, se introdujeron en talleres, laboratorios e industrias. El consumo industrial fue el que más interesó a las compañías productoras de gas hasta los años treinta del siglo XX en que empezaron

a adquirir importancia los usos domésticos (Arroyo, 2003: 3). En la industria a pesar de ser caro, el gas permitía aumentar la productividad mediante el trabajo en las horas nocturnas. Pero no solo ese fue el beneficio. La introducción del gas en el propio proceso de producción, en aquellas actividades que requerían calor, permitió aumentar la productividad industrial e incrementar los beneficios.

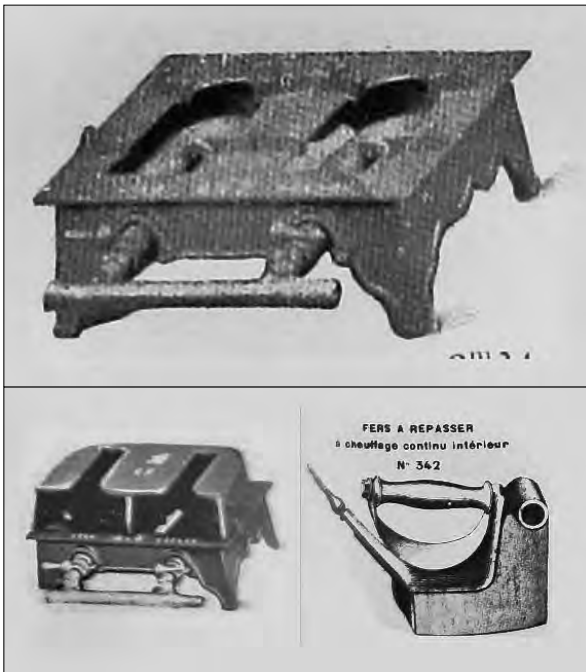
En este apartado hemos querido distinguir entre los usos artesanales y los de producción industrial. Aunque en muchos casos esta separación pueda parecer artificial, se pretende con ello poner de relieve que algunos usos artesanales guardaban muchas más similitudes con los usos domésticos mientras que los industriales requerían mayores inversiones y la invención de aparatos más grandes.

7.5.1. Algunos usos de gas para los talleres y laboratorios

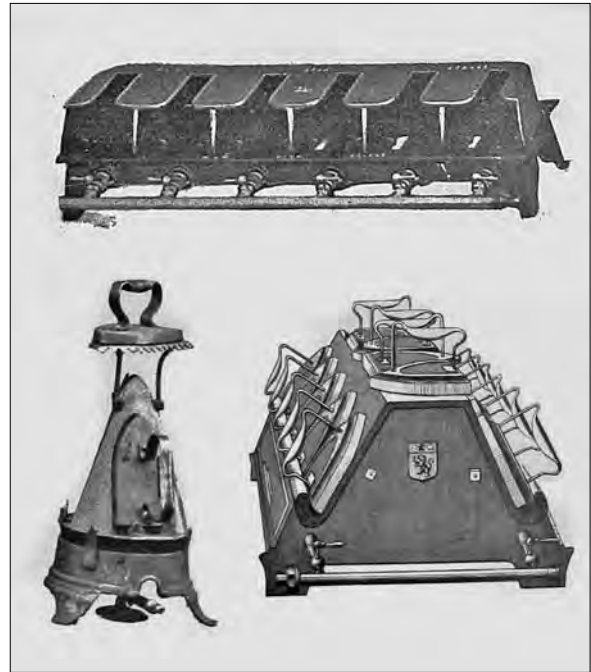
A parte de los usos del gas para el alumbrado y para calentar aire y agua, se desarrollaron otros aprovechamientos del calor de la combustión del gas aplicables a los talleres y a los laboratorios. Así, los fogones de uso doméstico se aplicaron a la actividad del planchado de ropa no solo para los hogares sino también para los talleres de sastrería y sombrerería. Se trataba de las tradicionales planchas que inicialmente consistían en unos hornillos que calentaban el hierro de la plancha a través de un quemador.

Sin embargo estas planchas iban perdiendo su calor a medida que se aplicaban sobre la ropa y hacía falta volverlas a colocar sobre el quemador para que volvieran a calentarse. Posteriormente la técnica se fue perfeccionando y las planchas incorporaron el quemador en su interior de manera que el sistema de calefacción era continuo y se podía mantener la temperatura sin alteraciones y evitar el enfriamiento de la plancha.

Mientras que los hornillos para planchas dirigidos a usos domésticos eran simples y contenían solo una o dos planchas, los pensados para los talleres permitían alojar cuatro, cinco o más.



Hornillo para plancha sin cubierta, arriba y con cubierta, abajo a la izquierda. Abajo a la derecha plancha con quemador incorporado (Garnier, 1905: 32; Brachet, 1926a: 85).

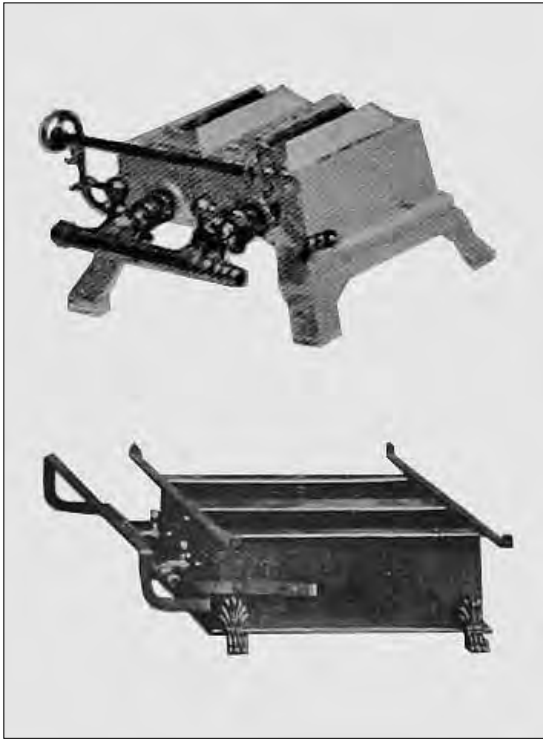


Fogones para planchas múltiples (Garnier, 1905: 33; Brachet, 1926a: 87).

Se fabricaron también quemadores para planchas de peluquería con las que se fabricaban los rizos de los cabellos y otras para planchar los guantes.

Especial atención merece un utensilio que puede considerarse precedente de las lavadoras. Se trata de la lejiadora enjabonadora que era un aparato que consistía en una cubeta superior en la que se colocaba la ropa y un zócalo inferior donde se alojaba el quemador. Su manejo consistía en poner la ropa a lavar conjuntamente con carbonato sódico y jabón en trozos. La ropa, que solía ser blanca, princi-

palmente sábanas, previamente había sido remojada durante una hora en agua fría y después se había escurrido. Una vez en la cubeta de la lejiadora, cubierta de agua y tapada, se encendía el quemador. Las sábanas hervían unas dos horas, lo que se consideraba tiempo suficiente para que la ropa quedase blanca y limpia. Después se sacaba y se aclaraba con agua fría. Estos aparatos se fabricaban por encargo lo que indica que no tenían a principios del siglo XX demasiada implantación.



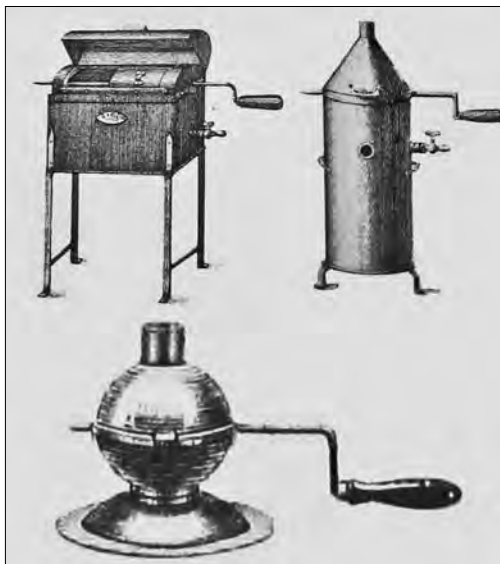
Arriba plancha para peluquería y abajo plancha para guantes (Garnier, 1905: 36-37).



Lejiadora enjabonadora (Garnier ,1905: 121).

Un aparato que también se comercializaba en esos primeros años de la utilización del gas eran las tostadoras de café. Se solían utilizar en restaurantes y hoteles donde el consumo de café era considerable. Con estos aparatos se tostaba el grano de café cerca del consumidor de manera que mantenía por más tiempo su

aroma. Había tostadores de diversas formas, de tambor o de cilindro, y posteriormente de bola. Unos se comercializaban con unos pies bajos mientras que otros con pies altos.



Tostadoras de café (Garnier, 1905: 122).

También había aplicaciones del gas para los laboratorios donde se comercializaban mecheros Bunsen especialmente adaptados para esos usos con sus soportes, otros similares aptos para joyería o para la farmacia. También se utilizaba el gas en los sopletes y en la fundición de metales como plomo, zinc o estaño para la fabricación de lingotes.

7.5.2. Algunos usos industriales del gas

La industria de la alimentación fue una de las grandes consumidoras de gas ya que le propor-

cionaba una gran flexibilidad para cubrir sus necesidades y porque, debido a que no requería temperaturas demasiado altas (entre 100° y 350° C), las pérdidas eran reducidas y el rendimiento excelente. Por eso se construyeron hornos para pastelería y charcutería que sustituyeron a los de carbón o leña. Algunos de ellos se destinaron a la producción artesanal y otros mayores a la producción en cadena. También se introdujo el gas en la industria conservera la cual requería calor para la esterilización de las latas de conserva y en la industria del café, chicoria, malta, cacao o tabaco en las que había que tostar o secar la materia prima.

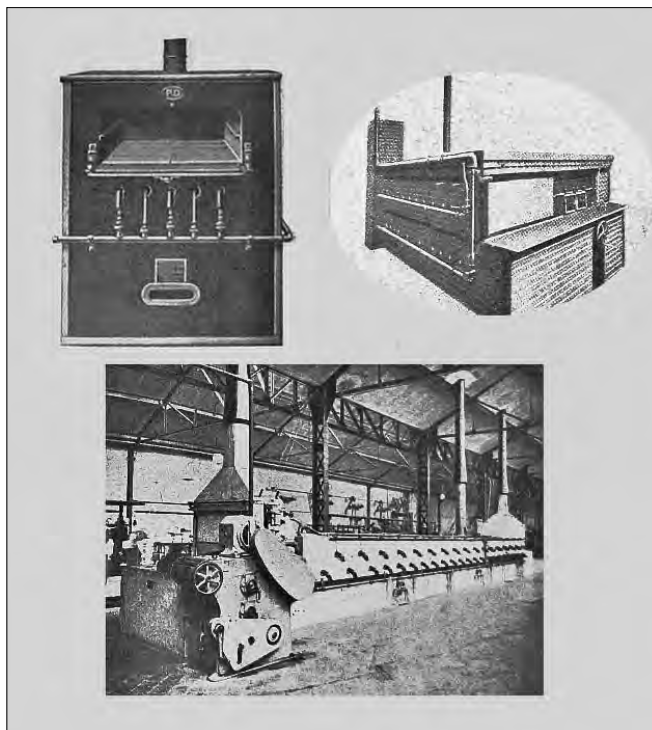
Las panaderías y las pastelerías no fueron en un principio muy favorables al uso del gas. Se trataba de pequeños artesanos para los cuales su horno era su principal herramienta de trabajo y a los que, por sus escasos recursos económicos, resultaba impensable realizar una inversión de estas proporciones para sustituir el horno antiguo por uno de gas. Pero las ganancias en el tiempo de calentamiento, en la reducción del esfuerzo de trabajo y de mano de obra, facilitaron su sustitución progresiva. Los hornos de gas para pastelería fueron diseñados de manera que el calor se repartiese de manera muy regular en la solera y en la bóveda del horno para evitar que el pan se ennegreciese o quemase. Algunos hornos fueron fijos de mampostería y otros, más económicos, móviles y de chapa. Entre los primeros había grandes hornos de solera cuadrada con diversos pisos, otros de solera circular giratoria que se destinaban a la fabricación de bizcochos los cuales se retiraban después de varias vueltas de la solera. La cocción de galletas se realizaba en hornos en cadena de grandes dimensiones compuestos de un túnel largo de sección rectangular que se calentaba a temperaturas entre 250° y 350° C. Las galletas se desplazaban mediante una cinta transportadora

7. Utilización del gas manufacturado

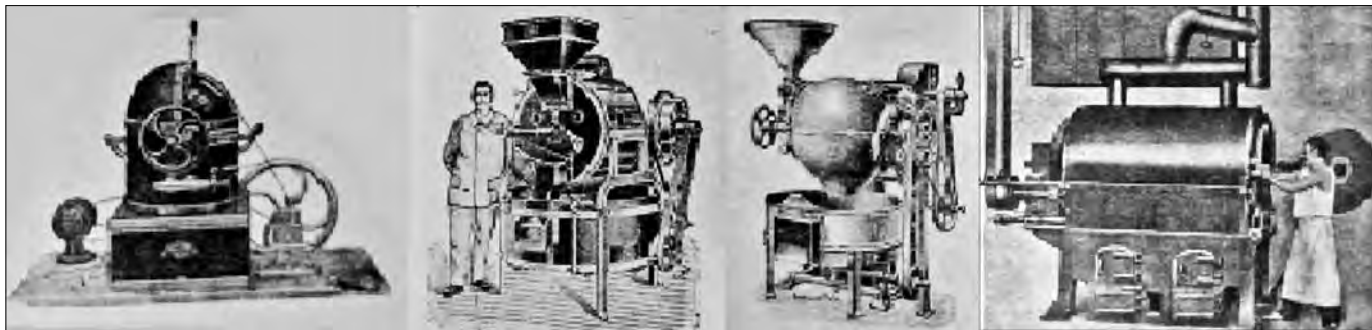
que atravesaba el horno a una velocidad apropiada para que a la salida, tras unos 7 minutos, ya estuviesen cocidas (Briard; Grangette, 1926, II: 115).

La torrefacción fue otra de las operaciones frecuentes de la industria alimentaria. Hemos visto en el apartado anterior que había también aparatos domésticos para este uso. Ahora veremos los que utilizaban las empresas que se dedican a la producción industrial de café. Estas construyeron aparatos de torrefacción de grandes dimensiones formados por un cilindro de chapa perforada en cuyo eje se situaba una rampa de gas rectilínea. La rotación hacía girar los granos de café en una atmósfera de gases de combustión. La torrefacción del cacao o de chicoria se realizaba en unos aparatos similares a los del café en ocasiones de forma esférica, mientras que los de tabaco se realizaban en grandes cilindros animados por un movimiento de rotación (Briard; Grangette, 1926, II: 131-133).

La segunda de las aplicaciones industriales del gas fue la metalurgia, en cuyos procesos se requerían temperaturas más elevadas. Las pequeñas y medianas empresas metalúrgicas de



Arriba: Horno de pastelería y horno de solera giratoria.
Abajo: Horno de fabricación de galletas
(Briard; Grangette, 1926, II: 117-119).



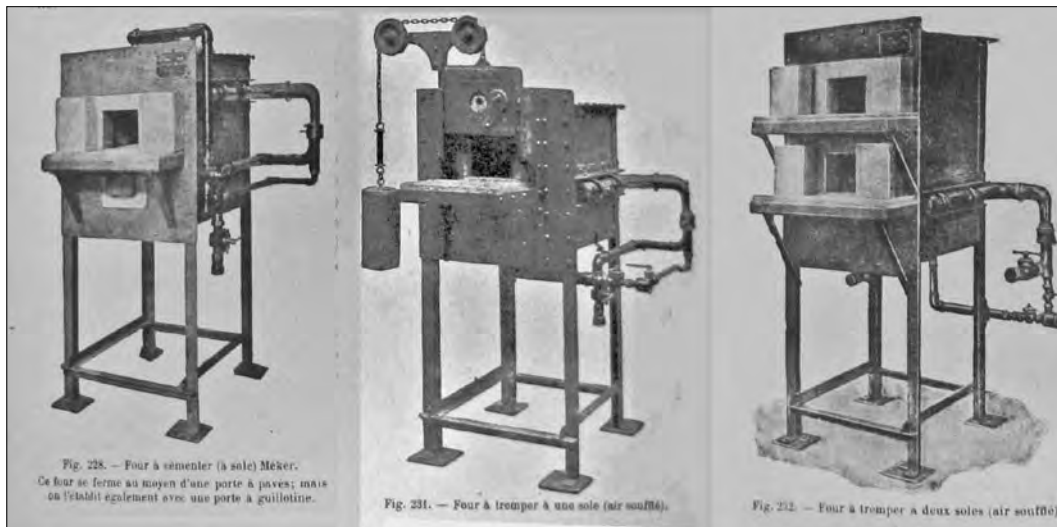
Tostador de café. Gran tostador. Tostador rápido. Tostador de tabaco
(Briard; Grangette, 1926, II: 131-133).

los años inmediatamente anteriores y posteriores a la I Guerra Mundial adoptaron el gas, ya que les permitía conseguir las altas temperaturas necesarias para los tratamientos térmicos en un tiempo breve y a un precio aceptable. Así fue como el gas se aplicó a los tratamientos que modificaban la estructura interna del metal como la cementación, el temple, el recocido y el revenido. También se usó en los procesos de recalentamiento previo del metal para modificar su forma, como la forja, la estampación y la embutición. Finalmente se usó también en el trabajo directo del metal para fundirlo o soldarlo y en los tratamientos de protección superficial como el galvanizado o el estañado.

Para la cementación, cuya finalidad consistía en proporcionar dureza y resistencia al desgaste a la superficie de las piezas de acero, se utilizó gas para calentar las piezas y crear una atmósfera reductora apropiada, de manera que se incorporase carbono al acero.

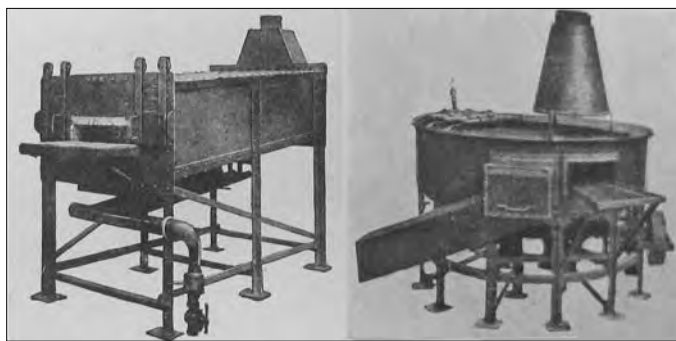
Para el temple, operación que aumentaba la dureza a la pieza y que consistía en su enfriamiento brusco en agua, aceite o aire, se utilizaron hornos de mufla en los que se elevaba previamente la temperatura de la pieza. Se construyeron hornos con dos soleras o dos muflas donde la superior precalentaba y la inferior templaba, recuperándose así el calor (Briard; Grangette, 1926, II: 135-145).

Para el recocido y el revenido, operaciones posteriores al templado y destinadas a eliminar las tensiones internas, a disminuir la dureza y resistencia y a aumentar la tenacidad, se construyeron hornos de solera y de mufla. Estos se cargaban en frío y después se encendía y se daba caudal máximo al gas. Obtenida la temperatura de régimen requerida se reducía el caudal manteniéndola constante el tiempo deseado. Después se dejaba enfriar antes de sacar la pieza del horno. El recocido de las piezas de grandes dimensiones se hacía en hornos de mampostería.



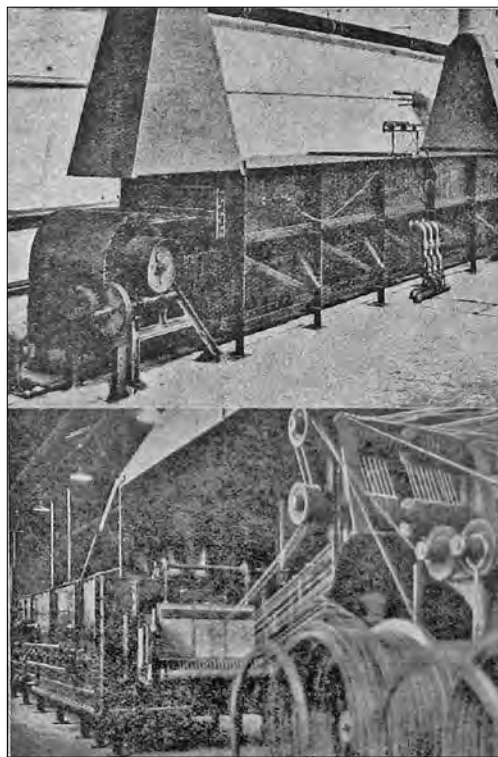
Horno de cementación. Horno de templado. Horno de dos soleras (Briard; Grangette, 1926, II: 136-139).

Sin embargo, los constructores diseñaron unos hornos con una solera ligeramente inclinada sobre la que los objetos se desplazaban por gravedad al tiempo que se realizaba el recocido mediante los gases de combustión que circulaban en sentido inverso. Eran los hornos de circulación metódica. En cambio, para los objetos que no se podían desplazar por gravedad se utilizaron hornos de solera giratoria formados por un túnel circular de sección rectangular cuya solera giraba alrededor de un eje vertical que pasaba por su centro.



Horno de recocido de solera inclinada;
Derecha. Horno de recocido de solera giratoria
(Briard; Grangette, 1926, II: 150-151).

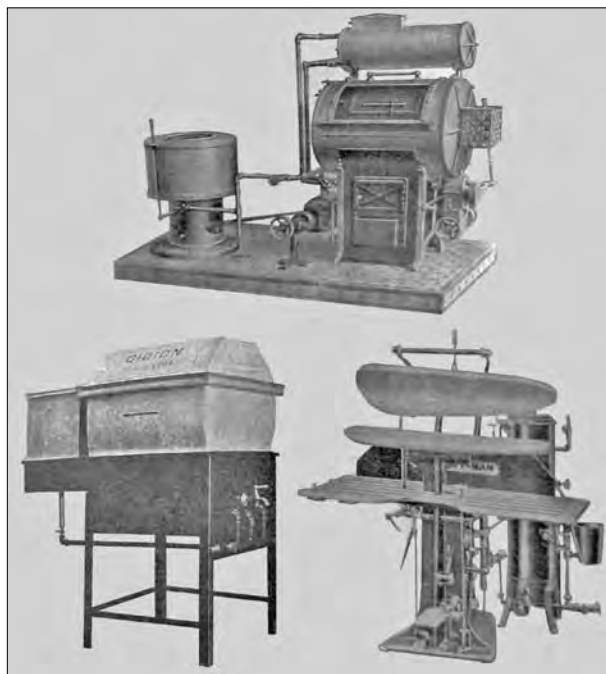
Para el recocido se construyeron también hornos de cadena en los que se realizaba el calentamiento metódico y el enfriamiento progresivo a la vez. Así, al entrar las piezas en el horno se encontraban con gases cada vez más calientes hasta la mitad de su recorrido. Pasada la zona de temperatura máxima, llegaban a la zona de salida en la que gracias al aire secundario que circulaba en sentido inverso, las piezas se iban encontrando cada vez con aire más frío de manera que se iban enfriando. Así se fabricaban, por ejemplo, los alambres (Briard; Grangette, 1926, II: 147-153).



Hornos de recocido en cadena.
Abajo: horno continuo de fabricación de alambres
(Briard; Grangette, 1926, II: 152,153).

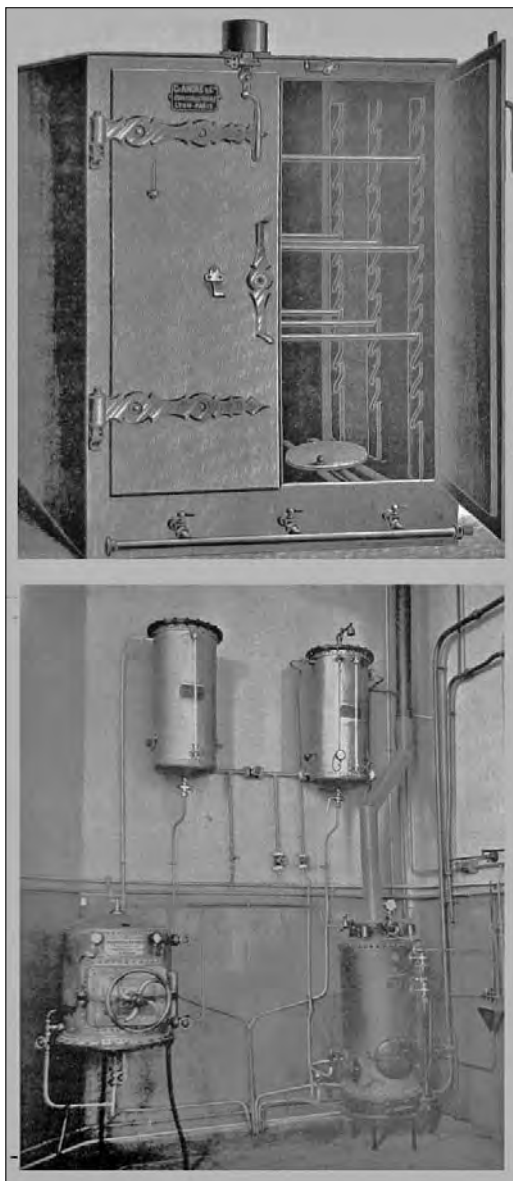
El gas se utilizó también en otras aplicaciones en las que se requería efectuar tratamientos térmicos como en las industrias del vidrio, para fundir la masa a la que se debía dar la forma deseada y en la fabricación de cerámica tanto industrial como artística en las que se requería una cocción a alta temperatura, regular y en muchos casos delicada. También se utilizó en la cocción de barnices y en el secado de pinturas, que se efectuaban en hornos cerrados y a temperaturas entre 60° y 400° C, en la fabricación de colores y de aislantes plásticos, en laboratorios para la producción o esterilización de productos farmacéuticos en autoclaves.

En la industria textil, el gas se utilizó para las operaciones de blanqueo, tintura y aprestos. Numerosas fueron las máquinas automáticas que se utilizaron en este proceso, como las máquinas lejadoras calentadas por una rampa de gas o la máquina Didión que al tiempo que giraba y hervía el tejido le introducía la lejía, o las planchas de vapor de tintoreros o sastres.



Lavadora Termidor. Abajo: Lavadora Didion.
Plancha de vapor con caldera de gas
(Briard; Grangette, 1926, II: 187, 188, 189).

La cantidad de aparatos e instrumentos que utilizaban gas descritos hasta aquí dan una idea del volumen de aplicaciones que comportó el gas en esas primeras décadas del siglo XX. Estos casos ponen de manifiesto la importancia de los usos industriales del gas en diversos ámbitos de la industria.



Horno para esmaltado de bicicletas; Instalación de
esterilización quirúrgica (Garnier, 1905).

8. Tecnología y desarrollo del gas natural

8.1. El gas natural

Se conoce como gas natural a la mezcla de hidrocarburos gaseosos que se encuentran en estado natural en el subsuelo, tanto terrestre como marino. Dentro de estos gases, el más difundido es el gas metano, mientras que otros están presentes en una proporción mucho menor. Estos hidrocarburos, denominados parafínicos, son el producto final de la descomposición de la materia orgánica.

El gas natural se puede presentar solo, o asociado con un yacimiento de petróleo, es decir un yacimiento que contiene gas y petróleo. Ambos, gas y petróleo, se encuentran principalmente vinculados con las rocas sedimentarias, pues tienen el mismo origen, incluso el carbón, pero en cada uno de ellos la transformación de la materia orgánica ha sido distinta. En unos casos ha sido la descomposición del carbón que da como resultado un gas rico en metano, aunque contenga pequeñas cantidades de otros hidrocarburos. En otros casos ha sido por la ruptura de largas moléculas de petróleo a causa de la influencia de la presión y la temperatura ejercidas en millones de años.

El gas natural cuando se encuentra junto al petróleo se le llama gas asociado o también, gas húmedo. Si se encuentra libre de petróleo y gasolinas se le denomina gas seco. El gas natural seco, al igual que el gas de hulla

u otros gases del petróleo, se compone de una mezcla de diferentes compuestos químicos presentes en su estado natural en forma gaseosa. Su principal componente es el metano, cuya fórmula química es CH_4 , normalmente en proporción mayor al 70 % según el yacimiento, pero también puede contener otros componentes como el etano, cuya fórmula química es C_2H_6 , o el propano, cuya fórmula química es C_3H_8 , y otros muchos componentes químicos orgánicos, que se denominan alcanos. También puede contener otros compuestos químicos como dióxido de carbono (CO_2), nitrógeno (N), ácido sulfhídrico (SH_2), mercaptanos e hidrocarburos de cadena larga, muchos de los cuales deben ser extraídos antes de transportar el gas pues son causa de corrosiones o avería de los equipos.

De la tabla siguiente se observa que, exceptuando el metano, el resto de los gases que componen el gas natural son más densos que el aire (densidad relativa =1), lo que en caso de escapes, el metano ascenderá y el resto se depositará en zonas más bajas. En ambos casos la posibilidad de inflamación existe si la proporción de gas en el aire se encuentra dentro de los dos límites, inferior y superior, como muestra la tabla, sin embargo, debe existir un punto de ignición para que esto ocurra,

Cuadro 8.1. Características principales de los hidrocarburos

	Punto de ebullición (°C)	Densidad relativa en estado gaseoso	Densidad relativa en estado líquido	Relación volumétrica entre el estado gaseoso y el estado líquido	Límite inferior de inflamabilidad en el aire. % de gas	Límite superior de inflamabilidad en el aire. % de gas
Metano	-161,49	0,554	0,42	632	4,9	15,0
Etano	-88,60	1,048	0,56	400	2,8	15,5
Propano	-42,08	1,554	0,58	314	2,1	9,8
normal Butano	-0,51	2,095	0,6	236	1,5	8,5
Iso-butano	-11,79	2,093	0,6	236	1,8	8,5
normal Pentano	36,07	2,712	0,63	207	1,4	8,3
Iso-pentano	27,84	2,657	0,63	207	1,3	8,0

Fuente: ATG, Aide-Memoire de l'industrie du gaz, 1990: 288-297.

ya que las temperaturas de auto ignición de estos gases están por encima de los 400 °C. También, a partir del butano y componentes superiores pueden existir componentes con la misma fórmula y diferencias en sus propiedades químicas o su poder calorífico. Los hidrocarburos a partir del pentano son líquidos a temperatura ambiente y también se les conoce como “gasolinas naturales”.

Con la posibilidad de contener en mayor o menor cantidad estos componentes, debe indicarse que el gas natural que se extrae de un yacimiento es distinto del que se extrae en otro, es decir, su composición depende de la mezcla de los distintos productos gaseosos, por ello las principales características del gas natural son:

Su composición, es decir, los distintos hidrocarburos y sustancias químicas que contiene por unidad de peso, o de volumen.

El Poder Calorífico Superior (PCS) y el Poder Calorífico Inferior (PCI), que definen su capacidad energética en la combustión.

La densidad relativa con respecto al aire.

El Índice de Wobbe, que define la intercambiabilidad en los quemadores y que como hemos visto anteriormente es función de las dos características anteriores.

El contenido en impurezas, es decir, si existen en el gas compuestos químicos no deseados, o sólidos en suspensión.

El gas natural es también una fuente de obtención de helio, la única que se conoce de forma natural. También en algunos yacimientos el gas natural viene mezclado con argón. Ambos en proporciones menores del 1% (Británica, V.15:945).

Cuadro 8.2. Composición de un gas natural según el yacimiento

	Lacq (Francia)	Groningen (Holanda)	Ekofisk (Noruega)
Metano	69,52 %	81,30 %	85,20 %
Etano	2,82 %	2,85 %	8,60 %
Propano	0,80 %	0,37 %	2,90 %
Butanos	0,60 %	0,14 %	0,90 %
Pentanos	0,91 %	0,09 %	0,2 %
H ₂ S	15,59 %	trazas	trazas
CO ₂	9,76%	0,89 %	1,7 %
N ₂	-	14,35 %	0,5 %

Fuente: Shell, 1983: 13.

De todos los tipos de combustibles existentes, el gas natural se reconoció inmediatamente como un combustible de gran poder calorífico, mayor del que se lograba con el gas de hulla, lo que unido a su facilidad para el transporte y a la comodidad para su utilización, lo hicieron el más idóneo para favorecer el desarrollo del sector gasista en el mundo. Ello, unido a su menor contenido en productos contaminantes, como el azufre, a su capacidad para reducir la emisión de óxidos de nitrógeno en la combustión a causa de su menor temperatura de combustión que otros hidrocarburos, o a su menor contenido de productos en suspensión, lo permiten cualificar como el mejor combustible fósil para el medio ambiente.

Antes de considerarse estas circunstancias, el gas natural, al estar situado, como hemos citado, vinculado a un yacimiento de petróleo, en muchas ocasiones se consideraba como un producto secundario, y la presión a que estaba sometido se utilizaba para impulsar el petróleo hacia la superficie una vez perforado el pozo. Asimismo, cuando era extraído, si

el transporte del gas no era suficientemente rentable, por la distancia existente entre los pozos y los puntos de consumo, o porque no había infraestructura, o porque no había demanda, el gas se quemaba en las antorchas del propio campo de petróleo.

Se conoce que las reservas de gas natural se encuentran principalmente, alrededor de un 70% en yacimientos donde solo existe gas, mientras que el resto se encuentra en yacimientos combinados de gas y petróleo. Ello ha conducido a considerar que las reservas probadas de gas natural permiten una duración de los aprovechamientos mayor que los yacimientos de petróleo.

El metano como componente principal del gas natural se puede presentar también en forma de hidrato. Los hidratos de metano son sustancias químicas en las cuales las moléculas del agua en forma de hielo contienen dentro de las mismas moléculas de metano sin enlaces químicos. También pueden contener dióxido de carbono o sulfuro de hidrógeno

pero el más extendido parece ser el hidrato de metano, también conocido como clatrato. Se conoce que el químico inglés Humphry Davy ya describió en 1811 un material de esta tipología, era un hidrato de cloro. En los años 1930 este compuesto se observó que, en determinadas situaciones, podía obturar los gasoductos de gas natural, y en los años 1960 este compuesto apareció también en los depósitos siberianos de gas.

Estos compuestos son parecidos al hielo y son estables a temperaturas próximas a 0°C o incluso superiores si se les somete a presión. Se ha examinado que un litro de clatrato de metano sólido contiene aproximadamente 168 litros de gas de metano. Los hidratos de metano se han formado de forma natural a bajas temperaturas y alta presión en los fondos marinos y en las capas congeladas del ártico pero la posibilidad de ser utilizados no se empezó a trabajar hasta los años 1980 y aún se sabe poco sobre su posición y las cantidades reales que existen de este compuesto químico.

Sin embargo la exploración efectuada en los últimos decenios ha hecho considerar que los hidratos de metano pueden ser una fuente de energía para el futuro. Entonces podría ser posible el transporte y almacenaje de gas natural bajo la forma sólida. Sin embargo esta posibilidad y su tecnología sigue estando aún en su fase de investigación. El sistema que se trabaja es el de fijar el gas natural en hidratos que permiten contener hasta 170 veces su volumen en metano.

En lo que se refiere al gas natural en forma gaseosa, su uso como combustible está implantado en Europa desde hace muchos años. Rusia es un país que cuenta con grandes yacimientos de gas, y uno de los primeros yacimientos de gas se descubrió en

1922 en Dashava, en los Cárpatos, y hasta 1958 los yacimientos de gas de los Cárpatos aseguraban casi toda la producción del país, con gasoductos entre Dashava y Kiev, o Dashava y Minsk (Gabrieliantz, 1987: 84). Los yacimientos de gas natural de Siberia y de los Urales tardaron más en incorporarse a su sistema energético, que entonces era cubierto principalmente con el carbón y el petróleo. No fue hasta los años setenta que se descubrieron dichos yacimientos que, por su dimensión, se convirtieron en el mayor depósito de gas natural del mundo.

Dentro de otro orden de magnitud, en 1939 se descubría un pequeño yacimiento en la localidad francesa de Saint Marcet que permitió distribuir este gas, desde 1949, hacia Toulouse y Burdeos (*Gaz d'aujourd'hui*, 1998, nº3-141).

Pero cuando el gas natural supuso para Europa el inicio de su utilización industrial fue con el descubrimiento, en el año 1949, de los yacimientos de valle del Po, en Italia, así como en 1951 del yacimiento de Lacq, en la región francesa de Aquitania. Ambos países lo empezaron a utilizar como combustible de forma directa o reformado para que se asemejara al gas de hulla, que era en aquel momento el combustible por excelencia, y empezaron a aparecer conducciones de gas natural a presiones elevadas, fabricadas estas con materiales capaces de permitir el transporte con garantía de continuidad.

Pero sobretodo ha sido en los Estados Unidos que el gas natural ha tenido un uso muy importante. Consta que el año 1821 ya fue identificado un yacimiento de gas natural en Fredonia, en el Estado de Nueva York, situado a tres millas del lago Erie. El pozo tenía una profundidad de 27 pies (8,23 m) y

el gas se utilizó para iluminar inicialmente dos almacenes, dos comercios y un molino. Posteriormente fueron las calles de la pequeña población (Williams, 1981: 139). Desde el año 1850, en distintos Estados de la costa este se utilizaba el gas natural como combustible para usos principalmente industriales. En el año 1870 se construyó un gasoducto de 40 km que utilizó tronco de pino de 20 cm de diámetro, agujereado en su interior, para suministrar a la ciudad de Rochester, situada en el estado de Nueva York, y en el año 1880 ya se distribuía con canalizaciones de alta presión en distintos estados como Nueva York, Pennsylvania y Ohio (Romaní, 1982: 26).

En 1891 un gasoducto de 193 km iba desde los yacimientos del norte del Estado de Indiana hasta Chicago. Era el primer gasoducto en alta presión a gran distancia. Pero será a

Hougaton entre los Estados de Oklahoma y Texas, que se establece una utilización más profunda del transporte por tubería, siendo la *Pandhandle Eastern Pipe Line Company* la que construiría un gasoducto de 1.600 km de longitud y 60 cm de diámetro hasta Chicago (*Gaz d’Aujourd’hui*, 1970, p.149).

Estados Unidos fue la principal productora de gas natural en la primera mitad del siglo XX. La tabla afirma, la gran diferencia existente entre Estados Unidos y Europa, originada por la capacidad de la zona petrolífera del Estado de Texas, mientras que los yacimientos europeos y la distribución de gas natural no tenían la misma dinámica. Téngase en cuenta que en Estados Unidos en 1958 había una red de gasoductos que alcanzaba los 265.722 km, cuya construcción se había iniciado antes de 1945 (OECE, 1960: 79).

Cuadro 8.3. Millones de metros cúbicos de gas extraído de yacimientos y consumido

	Estados Unidos	Zona OECE
1938	70.134	42
1946	114.135	383
1955	266.321	5.041
1958	320.460	7.533

Fuente: OECE, 1960: 79.

partir de los años treinta, en el siglo XX, con el descubrimiento, en el año 1929, del gran yacimiento de gas de Panhandle-

En 1958 el uso del gas natural como combustible comercial estaba empezando a utilizarse y crecer en la Europa comunitaria.

Italia era el país, que con diferencia, tenía mayor producción de este combustible, y su uso estaba muy extendido.

posibles que corresponden a yacimientos identificados pero sin conocimiento de la estructura geológica y de sus características.

Cuadro 8.4. Producción bruta de gas natural en 1958

	Millones de metros cúbicos de gas a 4.200 kcal/m³	Porcentaje que representa el gas natural respecto del consumo de gases combustibles
Italia	11.210	83,4 %
Austria	1.870	60,5 %
Francia	1.490	10,6 %
República Federal de Alemania	1.310	4,2 %
Holanda	420	7,8 %
Bélgica	210	6,6 %
Reino Unido	40	0 %

Fuente: OECE, 1960; 32.

En general el consumo de gas natural se restringía en zonas geográficas muy concretas: en Italia, en las llanuras del Po; en Austria, en la región Vienesa; en Francia en la zona de Aquitania, primero en Saint-Marcet y después en Lacq. En Francia se transportaba mediante canalizaciones desde Lacq hasta Lyon, Nantes y París.

Sin embargo, las reservas probadas de gas natural en Europa han evolucionado significativamente desde los años sesenta. Como reservas probadas se denominan aquellas que se pueden producir de forma asegurada con las condiciones económicas y técnicas del momento. También se pueden considerar las reservas probables, que son aquellas en las que el gas se puede extraer en los yacimientos si las condiciones técnicas o económicas fueran más adecuadas, y lo hicieran posible. En el último extremo existen las reservas

Pero quizás el mayor impulso en el uso a gran escala del gas natural en Europa fue cuando se descubrió en agosto de 1959, en la localidad de Slochteren, en la provincia holandesa de Groningen, el yacimiento de gas natural más grande de Europa en aquel momento. Ello motivó la creación, en 1963 de la *N.V.Nederlandse Gasunie* que se dedicó a explotar dicho yacimiento y empezó su transporte y distribución, primero en la propia Holanda, luego Bélgica y posteriormente hacia los países limítrofes, Alemania y Francia.

Solo cabe comparar el desarrollo del gas natural en este país europeo antes y después de la distribución de gas natural, para comprender la importancia que tuvo su descubrimiento. El cuadro 8.5 muestra el avance del consumo y de las instalaciones de gas en Holanda.

En la imagen se presenta la dimensión de las tuberías instaladas en 1960, antes de la aplicación del gas natural del yacimiento de Slochteren y en 1980, cuando ya se llevaban más de 15 años de desarrollo del gas natural en aquel país. Un ejemplo del desarrollo que ha tenido la implantación del gas natural en Europa.



Redes de gas natural en Europa en 1969.
Fuente: Gas Natural S.D.G.



Holanda año 1960



Holanda año 1980

Cuadro 8.5. La implantación del gas natural en Holanda

	año 1960	año 1980
Longitud de tuberías	1.500 km	10.350 km
Producción de gas	82 PJ	2.760 PJ
Consumo de gas	60 PJ	1.270 PJ
Casas conectadas	2.100.000	4.500.000

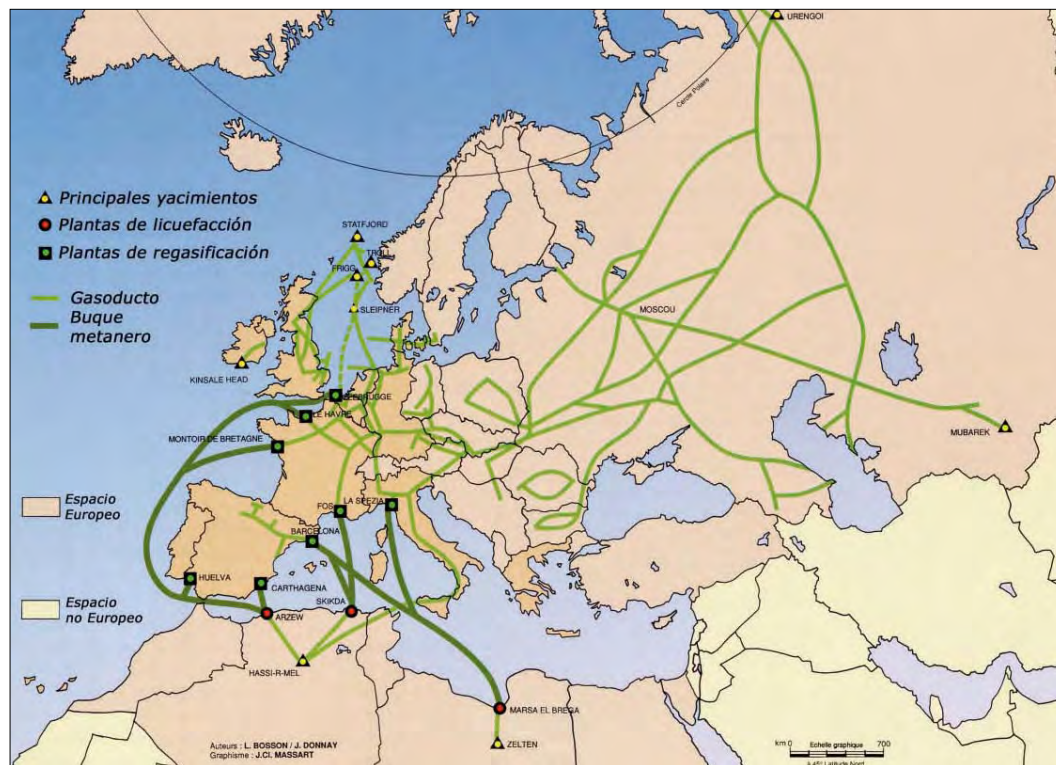
Fuente: Netherlands, the period 1960-1980. Earmarked by the natural gaz, 1981, Cedigaz.

Nota: 1 PJ = 1 Peta Julio = 10^{15} Julios = 277,778 GWh

Otro de los mayores impulsos en el desarrollo del gas natural en Europa se efectuó con la entrada en explotación de los yacimientos del mar del Norte, vinculados en cierta medida con la estructura geológica que dió con el hallazgo del yacimiento de Groningen. Con una primera perforación que tuvo lugar en 1964-65 las expectativas de obtención de hidrocarburos no fueron de nuevo vislumbradas hasta que se descubrió en diciembre de 1969 el yacimiento de Ekofisk en el sector noruego del mar del Norte.

Muchos años antes, el Mar del Norte ya había sido objeto de interés en la explotación petrolífera

y las distintas posiciones quedaron concretadas en la Convención de Ginebra de junio de 1964, donde 22 países ratificaron el tratado que organizaba los territorios submarinos de la plataforma continental del mar del Norte. En 1970 se modificaron algunos límites entre la entonces República Federal de Alemania, Dinamarca y Holanda. La primeras concesiones fueron efectuadas por el Reino Unido en 1964, por Noruega en 1965 y por Holanda en 1967. Una segunda oleada de perforaciones tuvo lugar a partir de 1971 con el descubrimiento del yacimiento denominado Ekofisk (ARGB, s/d: 7).



Redes de gas natural en Europa en 1987, (ARGB, s/d: 9).

La expansión del uso del gas natural en Europa y en el mundo en general ha sido muy importante, creándose una tecnología propia que se ha ido desarrollando constantemente en los distintos campos en que el gas natural tiene presencia:

- Extracción y tratamiento del gas natural
- Transporte por gasoducto
- Licuación, transporte del gas licuado y regasificación
- Distribución

8.1.1 El gas natural en España

La industria del gas manufacturado en España a finales de la década de los cincuenta era muy pequeña y estaba muy poco extendida en comparación con otros países europeos. España producía mediante el carbón y derivados del petróleo, unos 290 millones de metros cúbicos de gas, mientras que la producción Francesa era casi veinte veces mayor y la del Reino Unido setenta veces mayor.

Aunque no se contaba con yacimientos propios, a principios de los años sesenta, ya se estaba pensando en España en el gas natural. La nueva ley de hidrocarburos de diciembre de 1958 ya había puesto de relieve la necesidad de diversificar el suministro de gas y permitió situar una nueva etapa en las operaciones industriales de este sector energético. Pocos meses después nació la “Comisión Interministerial para el estudio de las posibilidades de la conducción del Gas Natural del Sahara a través de territorio español” al objeto

de asesorar al Gobierno en el tema y estudiar los problemas técnicos y económicos derivados de la posible explotación y transporte del combustible. Las entonces provincias de Sahara y Río Muni, fueron investigadas para localizar posibles yacimientos, de petróleo o de gas natural. Sin embargo no se produjeron avances significativos.

Pero por otra parte, la intensa actividad de exploración del subsuelo español para encontrar petróleo permitió localizar, en el año 1960, un pequeño yacimiento de gas natural en la provincia de Álava, en el municipio de Castillo/Gaztelu, al lado de Vitoria. Pero no obstante, pese a la existencia de este yacimiento, se conviene en señalar que el inicio de la introducción del gas natural en España se puede situar en el día 9 de noviembre de 1965, en esta fecha –casualmente la misma que la del importante apagón de 14 horas en Nueva York–, se llegó a un acuerdo en aquella ciudad entre *Catalana de Gas y Electricidad* y la *Standard Oil Co. (ESSO)* para importar gas natural de Libia a Barcelona, impulsando una nueva empresa que se denominaría Gas Natural, S.A.

En aquel momento la tecnología vinculada a la manipulación y transporte de gas natural estaba suficientemente desarrollada para poder garantizar la fiabilidad y regularidad del suministro que llegaría desde los yacimientos del Sahara. Estos yacimientos eran los más próximos a Europa y el principal escollo técnico, atravesar el mar mediterráneo, había sido solucionado con el transporte marítimo, pues ya funcionaban los terminales de l’Havre (Francia) y Canvey Island (Gran Bretaña). Es importante señalar que la apuesta que se hizo acerca del proyecto de importación de gas natural, representaba multiplicar por ocho el consumo previsto para 1968 de gas ciudad. Ello requería una serie de infraestructuras inexistentes como depósitos de

gas natural licuado, redes de reparto y la previsión de que la industria absorbería una gran parte del gas. Asimismo se consideraba que el gas substituiría a la nafta en el proceso de producción de gas ciudad y que se podría contar con el consumo de gas natural en las centrales térmicas situadas en Barcelona (Marquet, 1965: 475).

Con este proyecto en marcha, la distribución de gas natural en el área de Barcelona empieza en 1969. El primer suministro permanente de gas natural licuado a España procedía de los yacimientos de Zelten y Raguga, que explotaba la empresa Exxon en Libia. El gas era transportado en forma gaseosa con un gasoducto de 175 km hasta la planta situada en Marsa el-Brega, donde se licuaba a -161 °C con el objetivo de poder ser transportado posteriormente. El gas licuado se introducía en los barcos construidos ex profeso para esta actividad, se les conocía como los “metaneros”. El buque Laietà primer metanero español, construido por el grupo *Catalana de Gas y Electricidad*, fue destinado al trayecto entre Libia y Barcelona. El gas natural procedente de Libia tenía un poder calorífico de 11.100 kcal/m³ (Romaní, 1982: 93 y 134).

Una planta en Barcelona construida entre 1965 y 1969 tenía capacidad para tratar el gas licuado que llegaba de Libia y proceder a regasificarlo y al mismo tiempo separar del gas dos de sus componentes básicos, el propano y el butano que se comercializaban de forma independiente. La planta empezó a funcionar en junio de 1969 cuando el buque Aristóteles, procedente de Argelia, descargó 4.000 m³ de gas. Disponía de 2 depósitos de 40.000 m³ cada uno, para almacenamiento de gas y tenía una capacidad de producción en regasificación de 1.080.000 m³ por hora de gas, además de dos trenes para la separación del propano y el butano, que se almacenaban por separado y se acondicionaban para su utilización como gases comerciales. Era la única planta del mundo receptora de GNL que estaba dotada de este proceso de recuperación de estos gases pesados, ya que normalmente esta operación se efectuaba en los yacimientos o las plantas de licuefacción.

La distribución de gas natural comenzó en 1969 y en los primeros años uno de los destinos del gas natural fue su aplicación al gas manufacturado, para aumentar el poder calorífico, así como el uso directo en industrias y en menor medida a los usos domésticos y comerciales.

Cuadro 8.6. Utilización del gas natural en 1969 en el área de Barcelona

	Usuarios	Miles de m ³
Utilizado por las fábricas de gas de Barcelona	1	8.292
Empresas metalúrgicas	17	4.980
Empresas de vidrio y cerámica	17	2.950
Cementeras	1	4.215
Centrales térmicas de Barcelona	1	2.041
Otros usos	12	2.262

Fuente: Presidente del Sindicato Nacional de Agua, Gas y Electricidad, 1970.

Cuadro 8.7. El gas natural en España. 1969 -1976

Año	Gas natural utilizado en las fábricas de gas ciudad	Gas natural consumido en usos domésticos y comerciales	Gas natural consumido en usos industriales
1969	92	0	187
1970	67	32	789
1971	448	234	1.944
1972	1.101	432	3.594
1973	1.094	601	5.835
1974	902	681	5.791
1975	1.050	744	7.115
1976	1.152	907	10.474

Fuente: ENAGAS, 1977 (millones de Kcal).

El gas licuado también se transportaba por carretera a otras plantas sin conexión mediante gasoducto, donde se regasificaba y se distribuía también para usos industriales, comerciales y residenciales.

En el año 1972 se constituye por el INI la *Empresa Nacional del Gas S.A. (ENAGAS)* con la finalidad de gestionar todo lo referente a la importación de gas natural y la construcción de gasoductos para su distribución en España.

Con posterioridad a 1972, y a raíz del contrato que *Gas Natural S.A.* efectuó con la empresa estatal

argelina Sonatrach, el gas natural de la planta que aquella empresa tenía en Arzew, (Argelia) empezó a llegar a España. El gas natural en 1975 se circunscribía solo en el área de Barcelona, *ENAGAS* a finales de aquel año adquirió y pasó a gestionar la planta de Barcelona empezando un proyecto de gasificación de toda España mediante gasoductos.

Dos años después, en el año 1977, el panorama de uso del gas natural en España era destacable, como muestra la gráfica que sigue:

Cuadro 8.8. La distribución del gas en España en 1982

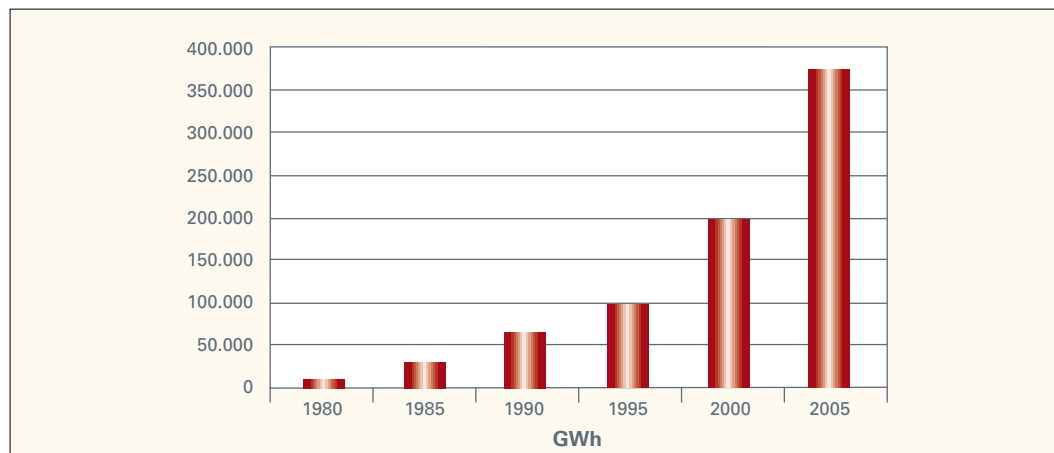
	Planta en explotación	Gas distribuido
Barcelona	Reformado catalítico de gas natural; Reformado catalítico de nafta y gasificación de gas natural licuado	Gas ciudad y gas natural
Bilbao	Reformado catalítico de nafta	Gas ciudad
Cádiz	Gasificación del carbón con craqueado de nafta	Gas ciudad
Figueres	Planta satélite de GNL	Gas natural
Girona	Reformado catalítico de nafta e Inyección de propano en aire	Gas ciudad y aire propanado
Gijón	Gasificación del carbón con craqueado de nafta	Gas ciudad
Igualada	Inyección de propano en aire	Aire propanado
Lleida	Reformado catalítico de nafta	Gas ciudad
Madrid	Reformado continuo de nafta	Gas ciudad
Málaga	Reformado catalítico de nafta	Gas ciudad
Manresa	Reformado catalítico de nafta	Gas ciudad
Murcia	Reformado catalítico de nafta	Gas ciudad
Oviedo	Gasificación del carbón con craqueado de nafta	Gas ciudad
Palma de Mallorca	Reformado catalítico de nafta	Gas ciudad
Reus	Inyección de propano en aire	Aire propanado
Sant Feliu de Guíxols	Planta satélite de GNL – Inyección de metano en aire	Aire metanado
San Sebastián	Reformado catalítico de nafta	Gas ciudad
Santander	Inyección de propano en aire	Aire propanado
Sevilla	Reformado catalítico de nafta	Gas ciudad
Tarragona	Reformado catalítico de nafta y planta satélite de GNL	Gas ciudad y gas natural
Tortosa	Gasificación del carbón con craqueado de nafta	Gas ciudad
Valencia	Reformado catalítico de nafta	Gas ciudad
Valladolid	Reformado catalítico de nafta	Gas ciudad
Vic	Inyección de propano en aire	Aire propanado
Vilafranca del Penedès	Reformado catalítico de nafta	Gas ciudad
Vilanova i la Geltrú	Reformado catalítico de nafta	Gas ciudad
Zaragoza	Gasificación del carbón con craqueado de nafta	Gas ciudad

Fuente: Berdonces, 1983: 14.

Pero a partir del año 1985 el uso del gas natural empezó a tomar fuerza y mediante la construcción de gasoductos, el incremento del consumo de gas ha sido espectacular, como lo muestra la gráfica siguiente:

Hasta el año 1997 la casi totalidad del gas que llegaba a España era gas natural licuado. Este se descargaba en las plantas y cuando se introducía en la red una vez regasificado su tasa de humedad era prácticamente nula y con una composición

Gráfico 8.1. Consumo de gas natural en España



Fuente: SEDIGAS.



Entrada de gas natural y gasoductos españoles en 1987.

Fuente: Gas Natural SDG, S.A.

regulada por los explotadores de la red, en la que el metano era el hidrocarburo casi exclusivamente presente en el gas. El control de la emisión se efectuaba en las propias plantas de regasificación y las garantías estaban vinculadas con la inexistencia de humedad en el GNL.

Desde la conexión a España del gasoducto a Noruega a través de Lacq, pero principalmente cuando se puso en servicio el gasoducto del Magreb, cuya capacidad de transporte era mayor que todo el consumo que se efectuaba en España en aquel momento, el gas penetra en la red en

forma gaseosa y desde los yacimientos y las plantas de tratamiento, puede llegar con compuestos de hidrocarburos más pesados o contener un porcentaje de humedad. El suministro de gas por gasoducto requiere un control distinto al que se efectúa en el GNL. El contenido de impurezas, y el vapor de agua presente en el gas se considera también una impureza, no solo no es deseable por disminuir el poder calorífico del gas, sino que la presencia de humedad en el gas puede dar lugar a condensaciones en las tuberías o en los equipos de la red, que perjudicarían el transporte. Por ello la explotación de la red de gasoductos tiene puntos frontera donde se colocan medidores para controlar todas las características físico-químicas del gas suministrado y evaluar el tipo de gas natural que llega a España.



Entrada de gas natural y gasoductos españoles en 1998.
Fuente: Gas Natural SDG, S.A.

No obstante la existencia de gasoductos, las plantas de gas natural licuado y de regasificación son una puerta de libre acceso a la introducción

de gas natural de cualquier parte del mundo, ya que el comercio del GNL está muy difundido. En 2007 el gas natural consumido en España era suministrado por 11 países y solo el 25 % entraba a través del gasoducto del Magreb y un 6 % por el gasoducto de Noruega. En las últimas dos décadas, desde la liberación del mercado del gas en España en 1999, las infraestructuras han evolucionado enormemente en los campos de regasificación, almacenamiento, transporte, distribución y utilización, como se va a ir destacando en este capítulo. El gas representa ya la segunda energía primaria consumida en España, después del petróleo y un tercio del consumo total se utiliza para la generación de electricidad mientras que aproximadamente el 50% se consume en la industria, el resto, un 13% se consume en usos domésticos. En España no se produce gas natural, solo tres pequeños yacimientos no proporcionan ni de lejos el 1 % del total consumido en el país.



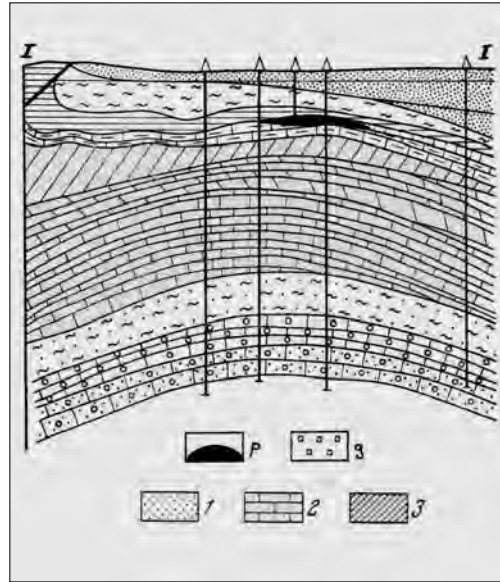
Estructura del sistema gasista español. Yacimientos en Marismas y Poseidón. Plantas de recepción de GNL, Almacén subterráneos (AASS), Centros internacionales de control y medida del gas (CI), Estaciones de compresión (EC).
Fuente: Gas Actual, nov 2008, nº109: 24.

8.2. Yacimientos y técnicas de extracción

El gas natural se encuentra en la naturaleza en yacimientos donde esta solo y en otros yacimientos mezclado con el petróleo. En 1877 el científico ruso Dimitri. I Mendeléev decía: *“Imagínense una capa de arenisca semejante a una esponja empapada de petróleo, figúrense que dicha esponja está rodeada de paredes impermeables, e imagínense luego que en este espacio cerrado hay elevaciones y hoyos... El gas debe acumularse en las partes superiores del referido espacio y el petróleo en las inferiores”* (Gabrieliantz, 1987:10). Esta visión tan simplificada de la situación de un yacimiento se ha ido enriqueciendo por los estudios geológicos derivados de la búsqueda de hidrocarburos, que en síntesis se configura sobre la base que los depósitos de gas y el petróleo se presentan en almacenes: porosos, agrietados o formando cavidades, encajados entre rocas impermeables.

La formación de los hidrocarburos, en general, se debe a la acción de las bacterias sobre la materia orgánica formada por organismos animales y vegetales en la zona de aguas poco profundas del mar. Por movimientos sísmicos la materia orgánica se fue hundiendo en las rocas sedimentarias que formarían la capa del suelo marino y mediante la acción de la temperatura y la presión de las capas superiores surgió la transformación de la materia orgánica en compuestos orgánicos como el metano o la lignina, que se fueron convirtiendo en compuestos más complejos.

Las rocas porosas del subsuelo son principalmente arenas, calizas y areniscas, y la porosidad y la capacidad de las rocas de dejar pasar el hidrocarburo al aplicar presión, determina la mayor o menor facilidad en la extracción. Como se ha indicado anteriormente existen dos



Corte estratigráfico del yacimiento de Lacq, en Francia.
P=petróleo, g=gas, 1= areniscas, 2=calizas,
3=roca impermeable.
Fuente: Gabrieliantz, 1987: 316.

tipos de yacimientos, en los que únicamente se encuentra gas natural y en los que hay gas natural y petróleo. Los yacimientos en los que solo se encuentra gas natural son más frecuentes que los mixtos y en los primeros es donde se presentan mayores cantidades de gas natural.

Según la localización, los yacimientos pueden estar en la superficie continental o en las plataformas submarinas (conocidos también con el nombre de *off shore*), y en el caso del gas, la explotación es más fácil en los yacimientos donde se presenta solo o acompañado de otros productos gaseosos, que en los yacimientos donde está mezclado con petróleo.

La extracción del gas se realiza mediante dos métodos:

- expansionando los fluidos que se encuentran a presión hacia el pozo de salida.
- por empuje hidrostático, de forma natural o artificial mediante la inyección de fluidos.

En los yacimientos mixtos de gas y petróleo, cuando no se dispone de gasoducto para el transporte de gas, se utiliza la técnica de reinyección, es decir, después de la extracción de los hidrocarburos, se vuelve a inyectar el gas en el yacimiento, de esta forma este se almacena y no es necesario quemarlo al no tener su consumo asegurado. Esta técnica de reinyección de gas también se utiliza para dar presión a la parte superior del yacimiento, contribuyendo a que una mayor proporción de petróleo pueda remontar a la superficie a través de los pozos por la presión adicional que recibe.

Normalmente el gas tal como se extrae del yacimiento, tanto si procede de yacimiento único o como de un yacimiento mixto, no es utilizable directamente y debe procederse a un tratamiento

de purificación. El gas que se extrae de los pozos petrolíferos contiene vapores de gasolina natural (pentanos y otros compuestos superiores) que se recuperan por licuación. Este gas natural se conoce con el nombre de gas “húmedo”. También puede contener vapor de agua que debe de ser eliminado en una operación de secado.

Cuando al gas húmedo se le ha separado la gasolina natural, entonces se conoce como gas seco.

El mayor yacimiento conocido de gas natural descubierto en los años 50 fue el del oasis Hassi R'Mel, situado en el Sahara argelino. Fue descubierto en 1956, pero pocos años después los yacimientos de Lacq y Slochteren inauguraban los grandes yacimientos europeos.

El primer yacimiento submarino empezó a producir en el año 1947. Situado a 20 km de la costa de Louisiana (EEUU), el yacimiento se había detectado en 1920 y en 1928 ya estaba asignado (Poulallion, 1972: p.404).

No todo el gas natural encontrado en yacimientos es igual, como lo muestra el cuadro:

Cuadro 8.9. Componentes del gas natural en % de volumen a la salida del yacimiento

	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₄₊₅	N ₂	CO ₂	SH ₂	O ₂
Zelten	66,2	19,8	10,6	2,3	0,2	0,9	-	-	-
Hassi R'Mel	83,5	7,0	2,0	0,8	0,4	6,1	0,2	-	-
Groningen	81,8	2,8	0,4	0,1	0,1	14,0	0,8	-	-
Mar del Norte	94,7	3,0	0,5	0,2	0,2	1,3	0,1	-	-
Venezuela	88,5	-	2,9	-	-	4,6	3,8	0,3	0,2
Iran	73,0	21,5	-	-	-	-	-	5,5	-
URSS	89,0	-	2,5	-	1,0	-	-	-	7,5

Fuente: SEDIGAS, Anuario del gas 07/08, 2007:35.

Incluso la proporción en la que se presentan los distintos gases que componen el gas natural depende, para un mismo yacimiento, de la presión del yacimiento, como se expresa para los cuatro principales componentes:

este yacimiento se utilizaron desde 1955 tubos de acero especial y también se ha utilizado para la extracción el sistema de doble tubo, en el cual un tubo interior es el que sirve para extraer el gas y la parte anular entre los dos tubos está llena de fuel

Cuadro 8.10. Proporción de hidrocarburos en un gas natural

	Presión en kg/cm ²			
	158	88	35,2	10,8
Metano	90,83	91,27	91,81	89,33
Etano	5,04	4,96	4,5	5,52
Propano	1,90	1,80	1,86	2,45
Butano	0,57	0,57	0,52	0,60
Isobutano	0,52	0,43	0,50	0,59

Fuente: Reiriz, Jesús (1979), p.1/2.

El principal problema en el yacimiento es la extracción de gas que contiene compuestos corrosivos para los equipos de extracción: tuberías y válvulas, que tabajan a una presión muy elevada en el interior de los pozos, del orden de 500 a 600 kg/cm² lo que requiere un material muy resistente y con características mecánicas excepcionales. Desde los años cuarenta se ha trabajado en la metalúrgia para dotar a los equipos que trabajan, no solo en la extracción de gas sino también en la de petróleo, de un acero duro y resistente. Ahora bien, también la erosión depende de la velocidad de salida del hidrocarburo, velocidad que depende del tamaño del tubo introducido y de las presiones del yacimiento.

En los Estados Unidos se ha llegado a revestir el tubo interior de material plástico, pero en según qué yacimientos esta situación no es útil, como es el caso de Lacq, con un gas altamente corrosivo por el SH₂ y el CO₂ que contiene. En

con un inhibidor de la corrosión para mantener el conjunto lo más libre posible. Téngase en cuenta que el gas llegaba a la superficie a la presión de 470 kg/cm² y a la temperatura de 70 °C y en una primera operación se transformaba a un gas de 200 kg/cm² y 30 °C y antes de entrar en la planta de tratamiento la presión bajaba a unos 100 kg/cm².

8.2.1. Los yacimientos españoles

Las prospecciones del subsuelo en España se encaminaron principalmente a la búsqueda de petróleo con profundidades que habitualmente no superaban los 4.000 metros, pero en estas prospecciones apareció también el gas natural. El primer yacimiento de gas natural en funcionamiento en España fue el de la provincia de Álava, en el municipio de

Castillo/Gaztelu, al lado de Vitoria, en el que empezó a partir de 1963 a extraerse el gas natural, situado en una capa a 4.350 metros de profundidad.

La prospección fue realizada por la “Compañía de Investigaciones y Explotaciones Petrolíferas S.A. (CIEPSA)”, y a partir de 1963 se empezó a extraer el gas del yacimiento.

Cuadro 8.11. Producción del yacimiento de Castillo. 1963 -1970

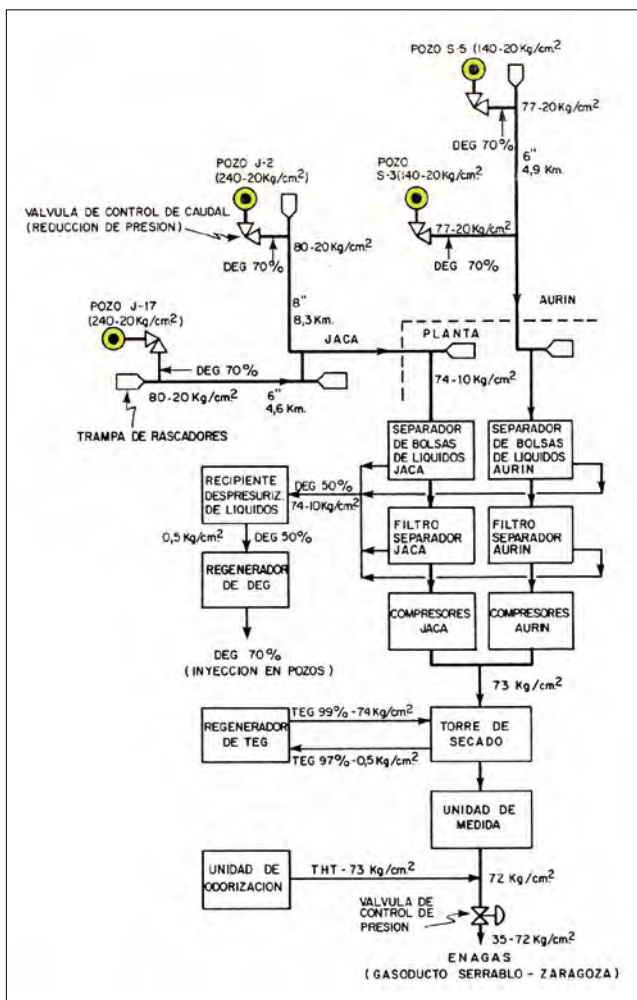
Millones de m ³	
1963	0.880
1964	2,417
1965	3,289
1966	3,828
1967	3,114
1968	2,474
1969	2,475
1970	1,740

El gas natural extraído del yacimiento se utilizó en unas pocas industrias de la misma provincia, principalmente por la fábrica de bicicletas de Beistegui Hermanos (BH) y la industria mecánica Esmaltaciones de San Ignacio. La composición del gas extraído era: 98,8 % metano, 0,9% etano, 0,2% propano, 0,1 % butano y sin ningún tratamiento adicional, la composición del gas no lo hacía necesario, se distribuyó a las dos industrias citadas (Enciclopedia Oilgas, 1970: 256).

En otras prospecciones se localizó el campo de gas de Serrablo, que estaba formado por dos yacimientos de gas: Jaca y Aurín, situados

respectivamente en los términos municipales de Jaca y Sabiñánigo, a una profundidad de 2.740 m y 1.700 metros respectivamente y constituidos por formaciones de carbonatos fracturadas, con acuíferos inferiores. En Jaca, el gas salía inicialmente a la presión de 287 kg/cm² y 117 °C de temperatura, y en Aurín de 152 kg/cm² y 71 °C. La explotación se realizó mediante cuatro pozos, dos en Jaca y dos en Aurín y se extraía en ambos hasta un máximo de 400.000 m³/día por pozo y un máximo de 1.500.000 m³/día en el conjunto. En su explotación, el gas combinado con líquidos y con adición de dietilenglicol (DEG) para evitar que se formaran hidratos de metano, salía del pozo y se llevaba por tubería enterrada y aislada hasta la planta de tratamiento. En la planta se separaba el gas de los líquidos, básicamente agua, y en otra etapa se terminaba de separar el líquido y los sólidos en suspensión que llevara el gas. Posteriormente se secaba el gas con trietilen-glicol (TEG) de forma que el gas a la presión de 72 kg/cm² o inferior, y a temperaturas mayores que -12°C, no pudiese tener condensación de agua y evitar la formación de hidratos de metano. Una vez seco el gas, se comprimía si era necesario, se odorizaba y se introducía en el gasoducto (Carmona y Velasco, 1990: 170).

El yacimiento de Serrablo funcionó entre 1984 y 1989 dando 911 millones de m³, a su cierre se ha reconvertido en un almacena-miento subterráneo.



Esquema de producción y tratamiento del yacimiento de Serrablo. Fuente: Carmona y Velasco, 1990: 184.

Otro yacimiento fue el Gaviota, que inició su explotación en 1986 y hasta 1995 el gas consumido en Euskadi era de este yacimiento “off-shore”, situado cerca de Bermeo, en la costa de Vizcaya. La existencia de gas explotable en este yacimiento se agotó en

1995 proporcionando un total de 3.082 millones de m³ de gas, el mayor de todos los descubiertos hasta hoy. Otros yacimientos de gas empezaron a ser explotados en 1990, fueron los de Palancares y Marismas en el valle del Guadalquivir, en Andalucía. También el yacimiento denominado Albatros se agotó rápidamente, aunque en 1995, con los dos yacimientos más importantes agotados, el gas obtenido en los yacimientos españoles en aquel año no llegaba en 1995 al 3% del consumo español y en aquel momento el más importante era el Albatros. Otro yacimiento, llamado Poseidón, situado “off shore” en la plataforma continental del golfo de Cádiz, inició su producción en 1997 y se ha agotado en 10 años.



Vista aérea de la plataforma del yacimiento Gaviota. Fuente: (Gas Natural SDG, S.A.).

Cuadro 8.12. Yacimientos de gas natural en España. 1963-2008

Yacimiento	Periodo de explotación	Media anual de m³ extraídos
Castillo	1963-1981	1.723.918
Serrablo	1984-1989	151.934.411
Gaviota	1986-1995	308.200.646
Ayoluengo	1988-1989	101.56.670
Marismas	1990-2005	65.862
Albatros	1995-1997	242.929
Poseidón	1997-2006	194.969
El Ruedo	1999-	6.121
Las Barreras	1999-	9.135
El Romeral	2002-	15.562

Si en el año 2004 los yacimientos españoles facilitaban el 1 % del gas natural consumido, en 2007 ha descendido hasta el 0,05 % de forma que casi no se puede hablar de extracción de gas natural en España, a no ser que se encuentren otros puntos no detectados hasta ahora.

8.3. Tratamiento del gas

La composición del gas natural ya se ha visto que depende del yacimiento.

que podrían afectar a cualquiera de las operaciones de: transporte, licuefacción o distribución. Pero también el tratamiento puede añadir al gas natural otros componentes que influirán positivamente en las mismas operaciones citadas anteriormente.

El primer producto que es necesario eliminar para evitar condensaciones en las conducciones y en los equipos de control, y también para prevenir la corrosión, es el vapor de agua, o también para evitar la formación de hidratos por combinación entre el metano

Cuadro 8.13. Los compuestos no combustibles del gas natural según el yacimiento

	Lacq (Francia)	Groningen (Holanda)	Ekofisk (Noruega)
H ₂ S	15 - 16%	trazas	trazas
CO ₂	9 – 10%	< 1%	< 2 %
N ₂		14 – 15%	< 1 %

En las plantas de extracción se somete al gas a tratamientos en los cuales se reducen o eliminan algunos compuestos no deseados,

y el agua, y para evitar la formación de hielo en casos de temperatura extrema, que conduciría al taponamiento de conducto.

También el gas natural se encuentra mezclado con hidrocarburos pesados, que es necesario eliminar para tener mejor calidad de gas y evitar que se produzcan obstrucciones en aparatos.

Así pues, el primer tratamiento del gas es separar el agua y los hidrocarburos en separadores (gas – líquido) o en separadores (gas – agua – hidrocarburo) que se efectúan mediante filtros ciclónicos.

El siguiente tratamiento es el secado del gas eliminando totalmente el vapor de agua. El método usado es el de absorción del agua con la ayuda de sustancias higroscópicas. Inicialmente se usaba el cloruro de calcio o también potasa, pero años después se pasó a utilizar los glicoles, principalmente el dietilenglicol, que se substituyó posteriormente por el trietilenglicol que conseguía un punto de rocío más bajo, es decir, un secado mas profundo. Actualmente, además del trietilenglicol, se utiliza el metanol. Este último componente se usa más en las plantas de gas natural licuado, ya que con el licuado, el metanol y el agua condensan juntos y se pueden extraer con mayor facilidad.

También se puede efectuar un secado del gas mediante la adsorción por lecho de alúmina activada, o lecho compuesto por gel de sílice, que adsorben el vapor de agua.

Una vez el gas seco, se eliminan los compuestos como sulfuro de hidrógeno (SH_2), dióxido de carbono (CO_2), o nitrógeno (N). El contenido de estos compuestos en el gas hemos visto que oscila mucho según el yacimiento y su presencia es nefasta para el uso del gas. El CO_2 y de N son componentes inertes en la combustión y reducen el poder calorífico del gas por unidad de volumen emitido. El SH_2 y también el CO_2 son gases ácidos y provocan corrosión en el

interior, de los tubos. La existencia de estos gases ácidos junto con condensación de agua debido a la presencia de humedad en el gas, origina un efecto corrosivo incrementado, y los gasoductos pueden llegar a fisurarse. El primero, el SH_2 , debe ser eliminado totalmente del gas natural de emisión ya que además es un gas tóxico y su combustión también produce los gases tóxicos SO_2 y SO_3 que liberados a la atmósfera producen compuestos dañinos para el medio ambiente.

La eliminación del SH_2 y el CO_2 se puede efectuar mediante un proceso regenerativo o no regenerativo, dependiendo de si se reutiliza de nuevo el componente que desplaza el gas ácido del gas natural. El proceso más utilizado es la absorción del compuesto mediante una disolución acuosa de aminas. Las aminas son compuestos orgánicos que derivan del amoníaco (NH_3), donde cada una de las 3 moléculas de hidrógeno puede ser reemplazada por un compuesto hidrocarbonado y pueden tener muchas variantes según el compuesto que acoge el nitrógeno que hace de molécula base. Las aminas pueden ser sólidas, líquidas o gases y para la absorción de los ácidos SH_2 y CO_2 lo más usual es utilizar la amina obtenida con el etanol, que puede ser la mono, di o trietanolamina. Todas reaccionan con ambos ácidos formando otro compuesto que queda retenido en la solución acuosa que forma la amina. Sin embargo, las aminas no llegan a absorber los mercaptanos, compuestos orgánicos derivados del azufre que también se encuentran en el gas natural y que también deben eliminarse. El procedimiento para eliminarlos es la adsorción sobre un lecho de carbón activado, de gel de sílice o de zeolitas.

En el proceso con absorción, el gas natural se hace pasar por una solución acuosa de aminas, donde los ácidos se quedan absorbidos y el gas queda libre de estos compuestos. Después se recicla la solución para volver a separar las aminas

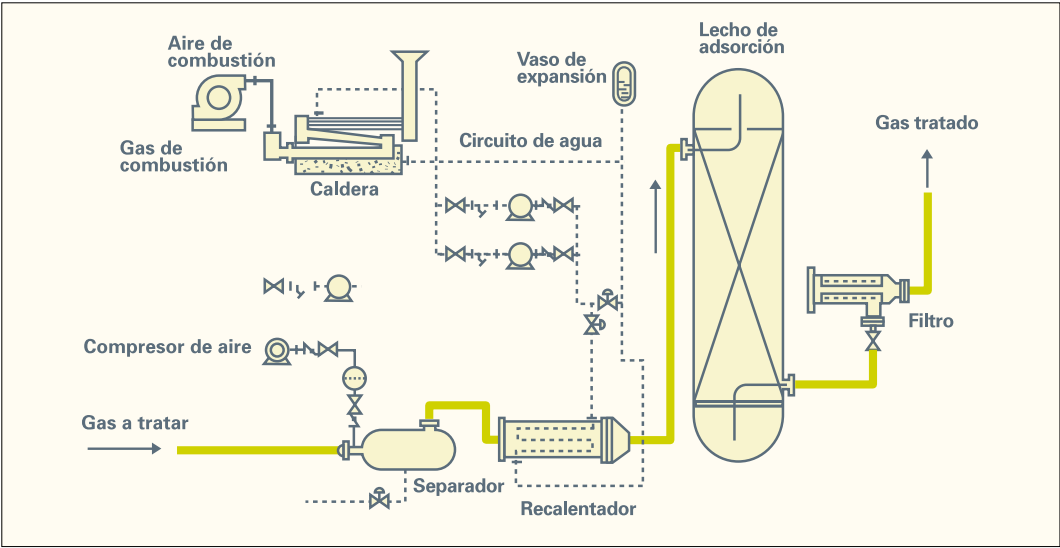
de los ácidos CO_2 y SH_2 . Estos se recogen en otro depósito y las aminas vuelven regeneradas al proceso.

En el proceso de adsorción mediante zeolita se utilizan las membranas, que son una fina capa de material que separa dos fluidos y que es permeable y selectiva con el componente que se quiere tratar, en este caso el CO_2 que es más permeable que los hidrocarburos del gas natural.

En el proceso con adsorción conjunta de SH_2

y CO_2 del gas natural se efectúa en lecho fijo adsorbente con zeolita que retiene ambos ácidos. El lecho de adsorción queda impregnado de azufre y puede ser regenerado haciendo pasar oxígeno que produce una oxidación formando SO_2 que se recoge y permite al componente base del lecho, la zeolita, volver al proceso.

El proceso de eliminación de las impurezas que lleva el gas natural al salir del yacimiento queda resumido en el cuadro donde se reflejan los componentes más representativos a eliminar y el sistema de efectuarlo.



Esquema del proceso de eliminación de SH_2 y CO_2 del gas natural mediante adsorción.
Fuente: Gas Natural SDG, S.A.

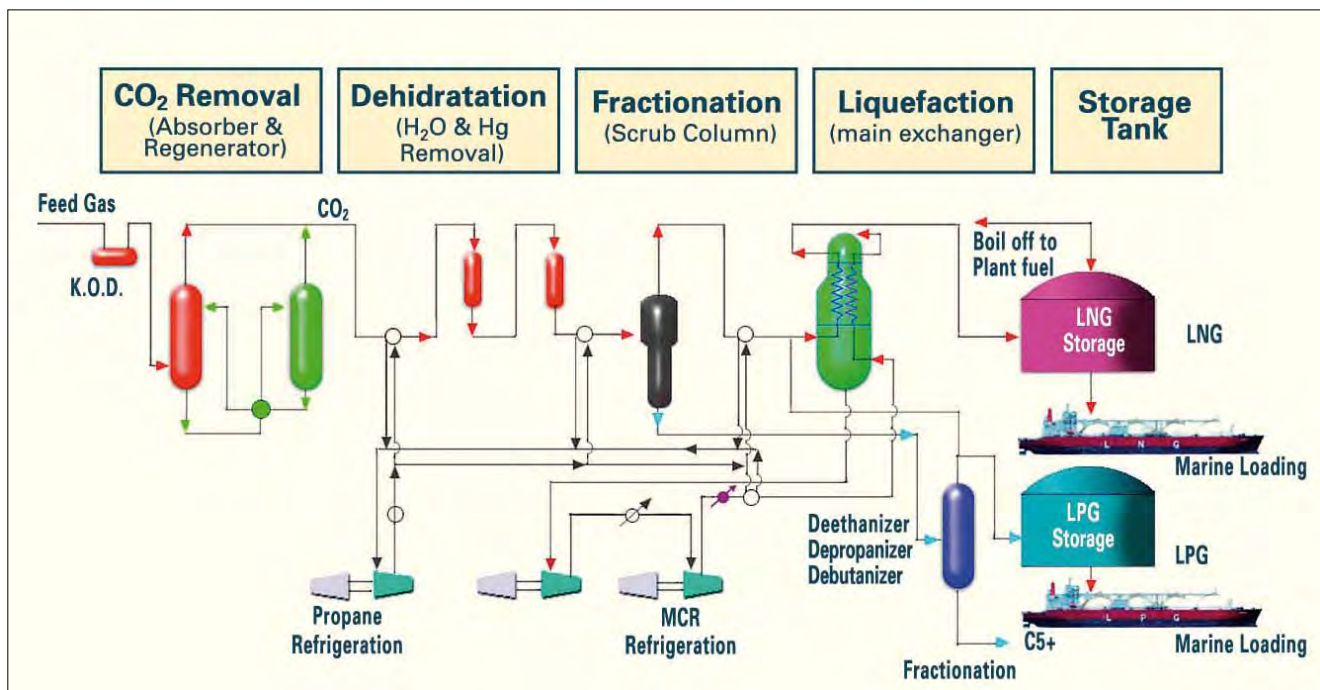
Cuadro 8.14. Procesos de reducción y eliminación de impurezas del gas

Componente a eliminar	Procesos	
Agua	Separación centrífuga	Absorción por glicoles o metanol
Dióxido de carbono	Absorción por aminas	Membrana de zeolita
Compuestos del azufre	Absorción por aminas	Adsorción por aminas
Nitrógeno	Destilación	Adsorción por zeolitas
Mercurio	Adsorción por carbón activado	

La sistemática de dejar el gas natural sin sus componentes menos combustibles y dañinos no se ha modificado substancialmente en los últimos decenios. El conocimiento de la química orgánica ha ejercido en esta parte una influencia capital. Una vez liberado el gas natural de sus componentes más contaminantes, pueden quedar aún en la mezcla los hidrocarburos pesados superiores al metano, es decir, los gases etano, propano y butano que pueden ser recuperados, de forma que uno de los objetivos de tratamiento del gas natural en esta etapa es recuperar estos componentes que son a menudo de mayor valor comercial que el propio metano.

8.4. Licuefacción

La licuefacción, es decir el paso del estado gaseoso al estado líquido, depende de lo que en física se conoce como temperatura de ebullición, por encima de ella un gas se mantiene en estado gaseoso, por debajo se licua y permanece en estado líquido. En el caso del gas natural, como es una mezcla de distintos componentes, cada uno de ellos tendrá diferente temperatura de licuefacción, una faceta que sirve de base para la separación de dichos gases. El metano, el principal componente del gas natural licua a $-161,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a la presión atmosférica. Ello representa que



Esquema integral de una planta de tratamiento y licuefacción de gas natural licuado (LNG) y gas propano licuado (LPG). Badak - Indonesia. (www.badaklng.co.id)

la licuación del gas natural debe alcanzar este valor que es la menor temperatura de licuación de los componentes.

Cuadro 8.15. Licuación de hidrocarburos

Temperatura de ebullición (°C)	
Metano	-161,50
Etano	-88,60
Propano	-42,08
Normal Butano	-0,51

Fuente: ATG, Aide-Memoire de l'industrie du gaz 1990: 288.

La baja temperatura a alcanzar para licuar y conservar este gas, provocó hace años planteamientos como el de licuar a mayor presión que la atmosférica para no tener que alcanzar esta temperatura tan extrema. Pero así como para el propano se necesitaba una pequeña presión para poderlo comprimir a temperatura ambiente, para el metano se necesita, por ejemplo, comprimirlo hasta 47 bars para que entonces licue a -87 °C. Una temperatura esta, aún suficientemente baja como para pensar que esta situación no aportaba grandes cambios, por el contrario, entonces los depósitos de gas licuado deberían ser más robustos y resistir grandes presiones, en lugar de estar a la presión atmosférica. Ello hizo desestimar tal posibilidad.

La ventaja que ofrece el gas natural es que al licuarse tiene un peso específico de 45 kg/m3 (en condiciones normales) y su volumen se reduce en 580 veces. Bajo esta reducción tan importante de volumen, los estudios y pruebas efectuados sobre la licuación del gas natural estuvieron enfocados hacia la posibilidad de utilizarlo licuado en su transporte y almace-

Cuadro 8.16. Influencia de la presión

Metano	
Presión (bar)	Temperatura de condensación (°C)
1	-161,5
5	-138,2
10	-123,2
19,6	-106,2
43,1	-83,2

Fuente: Shell, 1982, 4.

namiento. La licuación de gases no era una técnica nueva, pero sí lo era en este caso el tratamiento del gas natural con grandes cantidades a licuar y la extremadamente baja temperatura que se debía alcanzar.

Parece ser que la primera planta de licuación se construyó en el año 1912 en el estado de Virginia, en los Estados Unidos y en 1914 el estadounidense Goodfrey Cabot patentó una barcaza para transportar gas natural licuado que posiblemente pensaba utilizar para su transporte por el río Missisipi (Elliott, 1980: 3).

La primera planta industrial de licuefacción de gas natural se construyó en la población de Cornwell, en el Estado de Virginia del Este, en Estados Unidos, por la empresa Hope Natural Gas Corp. Esta planta iniciaba su actividad en el año 1940 con capacidad para tratar 8.000 m3 de gas diariamente y un almacenaje de 50 m3 de gas líquido para tenerlo como reserva. Seguramente el proceso se sustentaba mediante un sistema de varios refrigerantes actuando sobre el mismo gas.

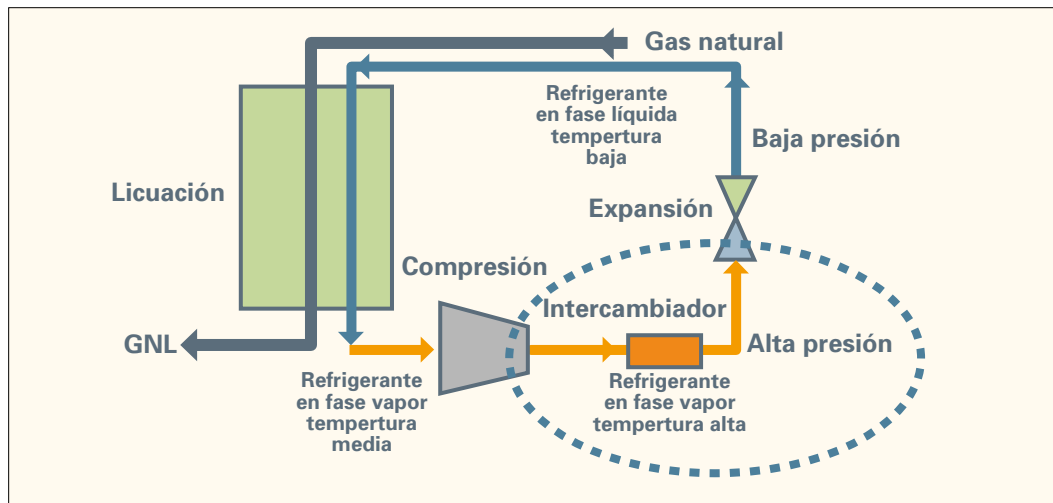
Un año después se hacía lo mismo en Cleveland, en el Estado de Ohio por la empresa *East Ohio Gas Company* con una planta mucho mayor, tres recipientes esféricos

de acero al 3,5 % de níquel, con capacidad para 1.400 m³ cada uno, al que más tarde se le añadiría un cuarto de 4.500 m³. La finalidad de esta instalación de licuación de gas natural era su almacenamiento en depósitos contruidos expresamente para esta finalidad y poderlo emitir en el momento en que hubieran puntas de demanda. Sin embargo la tecnología que utilizaron para mantener el recipiente a la temperatura de -161 °C era aún demasiado experimental (Tippy & Fitzgerald, 1964: 5). La primera planta estuvo funcionando durante 4 meses y la segunda a los tres años de funcionamiento, en octubre de 1944, el acero utilizado en el cuarto tanque no soportó las bajas temperaturas y el depósito, conteniendo 4.500 m³ de gas, se rompió provocando un gran accidente con 128 personas muertas (Williams, 1981:143) (ATG, 1990: 429).

La tecnología de la licuación de gas natural fue avanzando en los años cuarenta y algunas compañías de gas estadounidenses almacenaban

gas natural extraído de los yacimientos en su forma líquida. Se conoce que en los inicios de la guerra fría, en 1947, la empresa *Dresser Industries* de Dallas (Texas) construyó para la Unión Soviética una planta de licuación de gas natural de medio millón de metros cúbicos de capacidad para tratar el gas que ya empezaba a ser fundamental para aquel país (Elliott: 1980-3).

En Europa, se construyó una estación experimental de gas natural licuado en Nantes (Francia), que fue puesta en servicio en 1960. Se proyectó para producir 17,5 m³ por día de gas natural licuado. Su sistema de licuefacción fué diseñado por la empresa *Air Liquide* y estaba basado en aplicar diversos ciclos de compresión-condensación-evaporación hasta alcanzar los -160°C. Aunque ello representaba utilizar una considerable cantidad de energía dedicada a esta operación, en la que los compresores y los intercambiadores de calor jugaban un papel primordial, era el único sistema

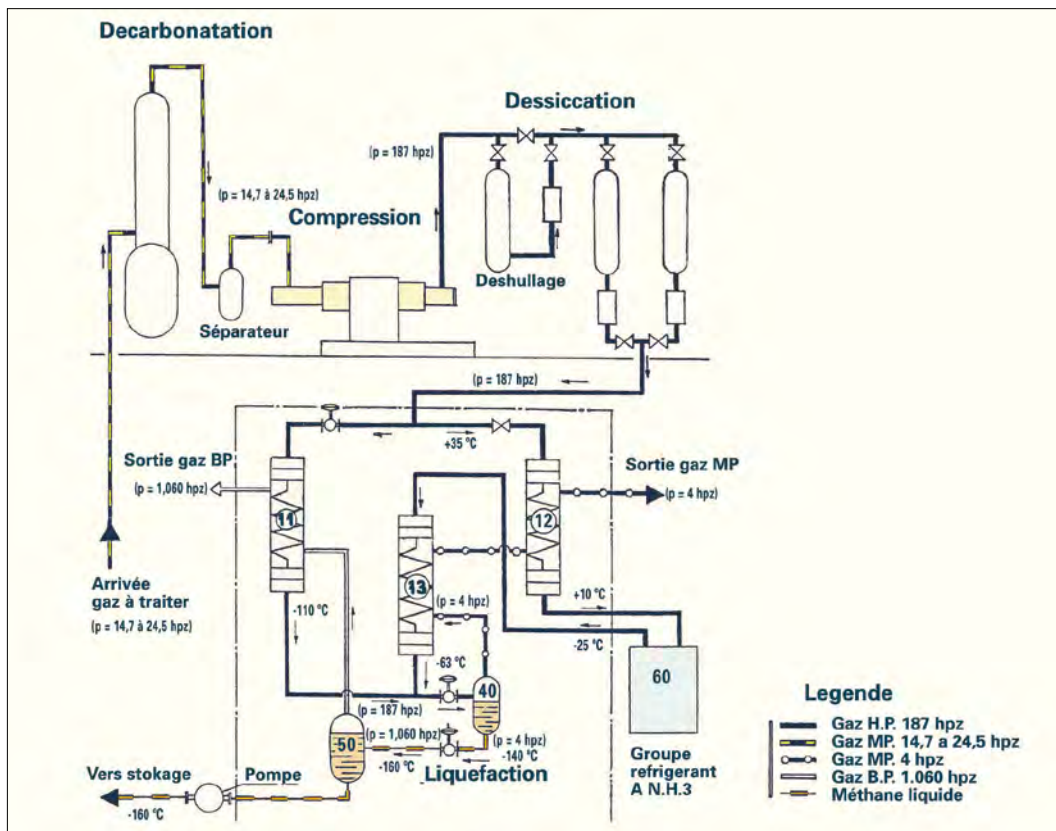


Esquema simplificado de un ciclo de licuación de gas natural mediante compresión-expansión. (ENAGAS)

conocido. Como refrigerante externo para poder licuar el gas natural se utilizó el amoníaco (NH_3) y también el propio gas natural también se utilizó como refrigerante.

Las expansiones isoentálpicas donde se reducía la presión eran una de las bases para la reducción de la temperatura. El proceso se iniciaba con una purificación y secado del gas que se comprimía a 187 bar. El paso por un primer proceso de refrigeración con NH_3 lo dejaba en estado gaseoso a 25°C y después del intercambiador principal con

gas natural quedaba a -63°C y al expandirse de 187 a 4 bar pasaba a -140°C lo que provocaba una licuefacción parcial que se complementaba con una segunda expansión de 4 a 1 bar y quedaba a la temperatura de -160°C . Las partes que no licuaban, pero que estaban a baja temperatura, se hacían recircular por los intercambiadores y colaboraban a rebajar la temperatura del gas en proceso. Una parte de este gas de recirculación que no licuaba se enviaba finalmente a la red de distribución.



Esquema de la estación de licuefacción de Nantes, 1961
Fuente: (Richard & Biaís 1961:16).

8.4.1. Técnicas de licuefacción

La tecnología utilizada en Nantes se ha perfeccionado mucho, aunque la base física sobre la cual se sustenta mantiene las dos partes esenciales: los ciclos de compresión – expansión y el intercambio de frío entre dos fluidos. En los años 1960 *Phillips Petroleum Co.* desarrolló un procedimiento de licuación en cascada con tres etapas de refrigeración distintas. Posteriormente se desarrolló otro sistema de licuación que consistía en utilizar un único refrigerante.

En todos los casos se puede producir GNL sin llegar a los $-161\text{ }^{\circ}\text{C}$ de la temperatura de licuefacción. En algunas plantas se llega hasta la temperatura de $-145\text{ }^{\circ}\text{C}$, procesando el gas siempre a una presión del orden de 4 bar, y para tener el enfriamiento final se termina con una expansión del gas de proceso hasta la presión atmosférica, lo que produce una rápida evaporación autoenfriándose el propio gas hasta $-161\text{ }^{\circ}\text{C}$.

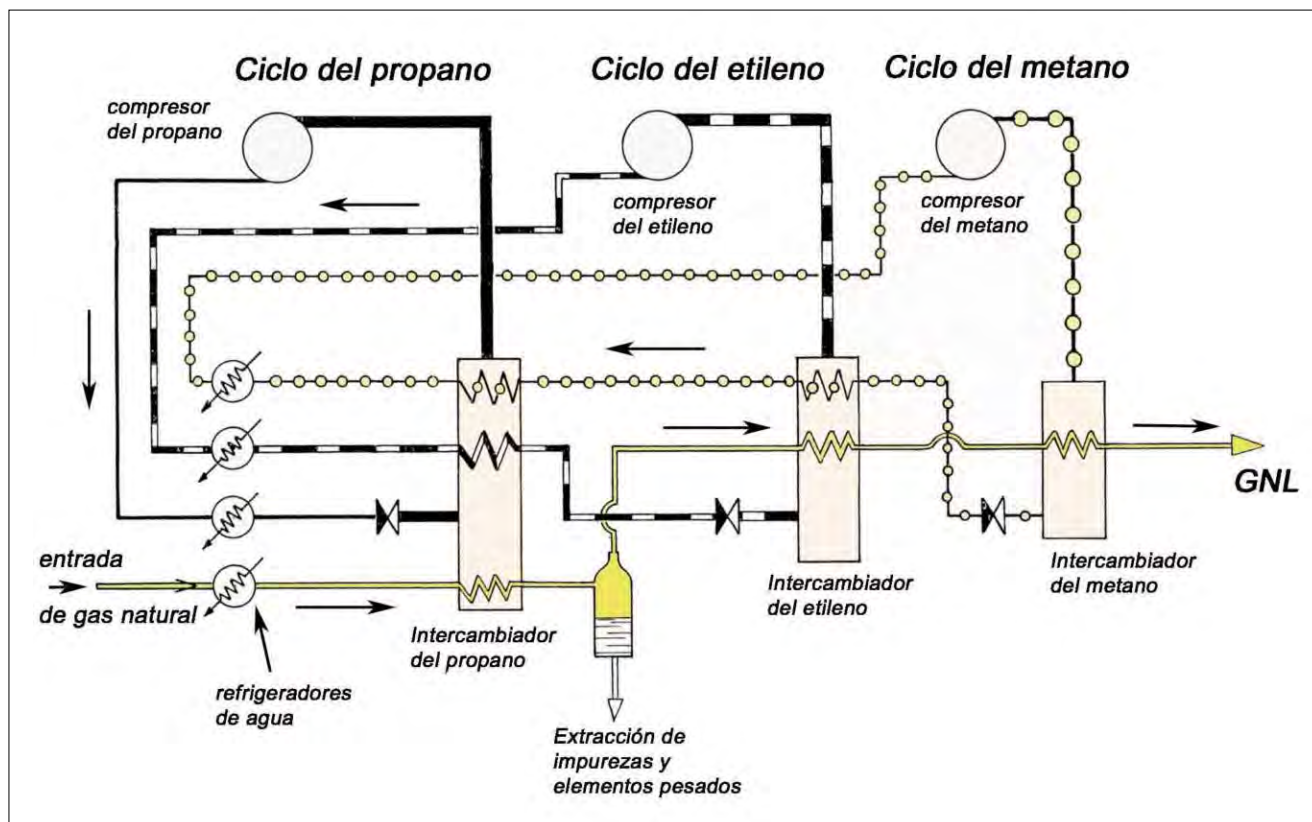
El método de licuación en cascada, con tres etapas, se efectúa con la utilización de tres refrigerantes de distinta temperatura de ebullición. En cada etapa el refrigerante utilizado tiene una menor temperatura de ebullición y el gas natural a licuar se va comprimiendo y enfriando más en cada etapa y en la tercera y última etapa es cuando se consigue una menor temperatura. En la primera etapa el propano comprimido, se expande, se enfría y refrigera el gas natural hasta $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ en que se vuelve a recomprimir; en la etapa del etileno comprimido este al expandirse se enfría y refrigera al gas natural hasta $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ y también se vuelve a recomprimir, en la tercera etapa el gas natural se comprime, se expande y se enfría

hasta $-145\text{ }^{\circ}\text{C}$ refrigerando el gas natural del proceso.

Este procedimiento fue probado en la misma planta experimental de *Gaz de France* en Nantes. Los tres componentes eran los mismos que acabamos de describir: propano, etileno y metano en estado puro. El propano y el metano se obtenían del gas natural, mientras que el etileno provenía de las plantas petroquímicas. Con este procedimiento se llegaba a una temperatura de $-151\text{ }^{\circ}\text{C}$ porque el compresor de metano de la tercera etapa, trabajaba a una presión superior a la presión atmosférica. La temperatura final de $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ se obtenía dentro del depósito al dejar evaporarse una parte del gas natural que se utilizaba para hacer funcionar las turbinas y los compresores del proceso. El calor que se necesita para la evaporación lo facilitaba el gas que se auto-enfriaba aún más (*Gaz d'Aujourd'hui*, 1973, p.249).

El esquema de tres etapas no solo refrigera el gas de proceso, sino que se aprovecha el frío generado en cada expansión para refrigerar los gases que intervienen en las etapas siguientes; el propano refrigera al gas de proceso y también el etileno y el metano, y el etileno también refrigera el metano. De este método existen variantes constructivas que buscando un mejor rendimiento, están basadas en este sistema.

La planta de licuación de Arzew (Argelia) construida entre 1962 y 1964, se diseñó utilizando el procedimiento de cascada para la sociedad *Compagnie Algerienne du Methane Liquide* (CAMEL), y era capaz de procesar 4.000.000 de m^3 diarios con una capacidad de 2.350.000 m^3 de GNL. Fue conectada mediante un gasoducto de 320 km con el yacimiento de Hassi R'Mel, en

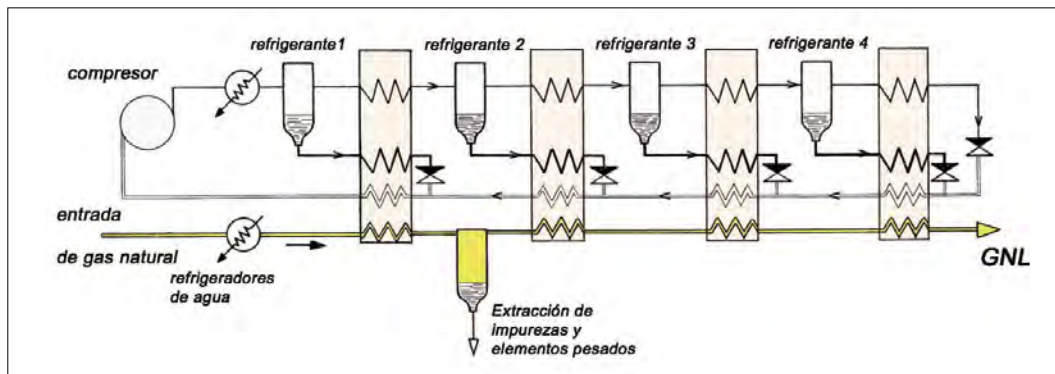


Esquema del ciclo de cascada (Phillo et Richard, 1967: 10).

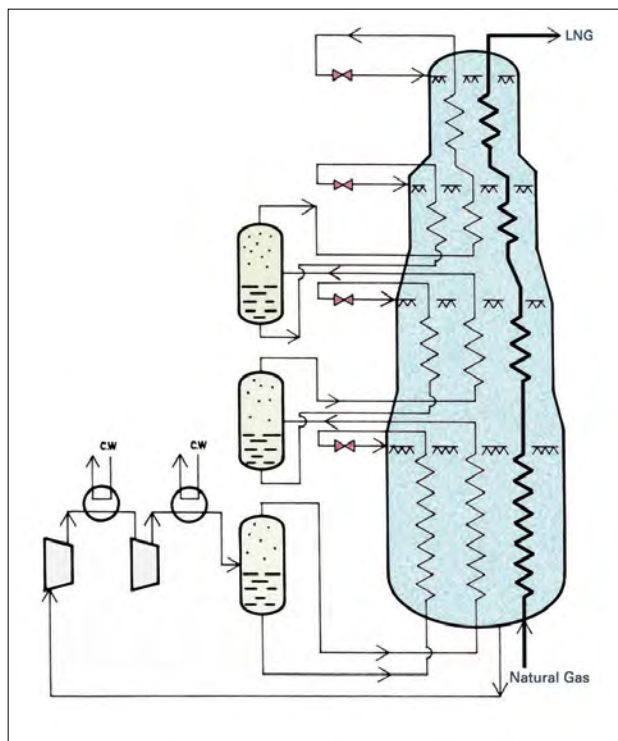
el Sahara, de donde le llegaba el gas natural. Otra de estas plantas de cascada fue construida por *Phillips Petroleum Co.* en Nikiski, Kenai (Alaska), en 1968-69.

El otro sistema de un solo refrigerante mixto esta constituido por una mezcla de cuatro componentes: nitrógeno, metano, etano y butano, los tres últimos obtenidos del propio gas natural. Se trata una mezcla que tiene una curva de vaporización vecina a la curva

de licuefacción del gas natural, de esta forma la energía del gas natural es absorbida por la mezcla y el gas natural se va enfriando por etapas. Este método tiene la ventaja de ofrecer menor inversión, pues solo tiene un compresor y los productos son tanto o más fáciles de conseguir, el control de proceso es más simple, pero su consumo energético es superior que en el procedimiento en cascada. Una prueba piloto de este procedimiento se efectuó por la sociedad *Air Liquide* en Nantes entre 1964 y 1965.



Esquema del ciclo de refrigeración del gas natural mediante refrigerante mixto (Phillo et Richard, 1967: 11).

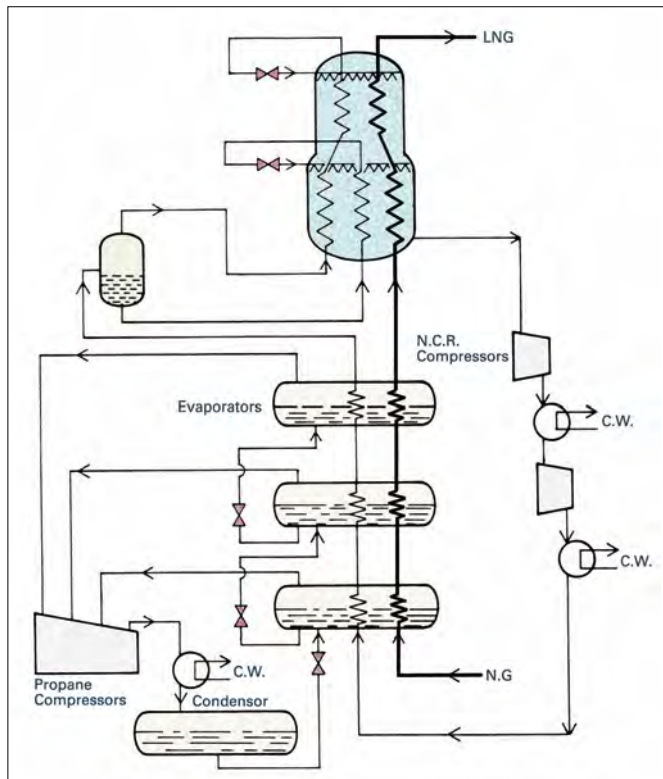


Esquema del ciclo de refrigeración mixto instalado en Marsa-el Brega (Libia) (Shell, 1982: 23).

El sistema de licuación mediante refrigerante mixto ha tenido varias formas constructivas, basadas siempre en un único circuito de compresión expansión del refrigerante. La primera planta basada en este sistema fue construida por la empresa *Air Products* en Marsa-el Brega, en Libia, puesta en servicio en 1970, desde donde se transportaba una parte hacia España. Este sistema proporcionaba un mayor rendimiento que el sistema clásico (Shell, 1982: 9).

Sin embargo la tecnología de licuefacción ha ido evolucionando para conseguir un mayor rendimiento en la transformación. Además de optimizar los dos procedimientos citados, el de cascada y el mixto, se han desarrollado otros procedimientos, que han combinado las propiedades de estos dos primeros. El más utilizado en las plantas construidas a partir de los años 1970 ha sido un proceso con refrigerante mixto pero en el cual la primera etapa de refrigeración se efectúa con propano. Este sistema fue empleado por primera vez en la planta de Brunei en 1973 y se sigue utilizando actualmente. El propano se condensa con agua fría y se expande con lo que refrigera el gas natural y el refrigerante mixto a -33°C , luego sigue el proceso mixto.

8. Tecnología y desarrollo del gas natural

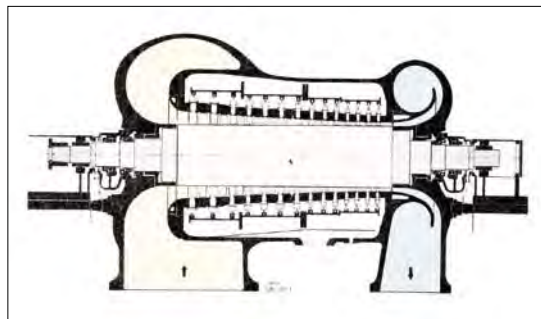


Esquema del ciclo de refrigeración mixto mezclado con un proceso en cascada refrigerado con propano, instalado en Brunei (Shell, 1982: 25)-

Se están estudiando nuevos métodos basados en las propiedades físicas de los líquidos, que repercutirán en una mayor eficiencia del proceso. Pero el sistema utilizado mediante líquidos refrigerantes junto con la compresión y expansión, es el sistema comúnmente utilizado para la producción de gas natural licuado, y todas las nuevas plantas de GNL lo utilizan con procesos adaptados, como es el caso de la planta de Sakhalin en Rusia con un proceso mixto dual.

Uno de los equipos que han tenido un importante avance han sido los compresores, que son en

definitiva los que ejercen la función principal del proceso y con los que se evalúa el rendimiento de la licuefacción. Ya en los primeros años de implantación del GNL la potencia de cada uno de los compresores fue aumentando considerablemente y esta ha sido la referencia con la cual se han introducido las nuevas plantas. Por ejemplo, los dos compresores de la planta de Skikda en Argelia, que se pusieron posteriormente al año 1978, tendrían 110 MW de potencia, mucho mayor que los 80 MW del compresor 4.

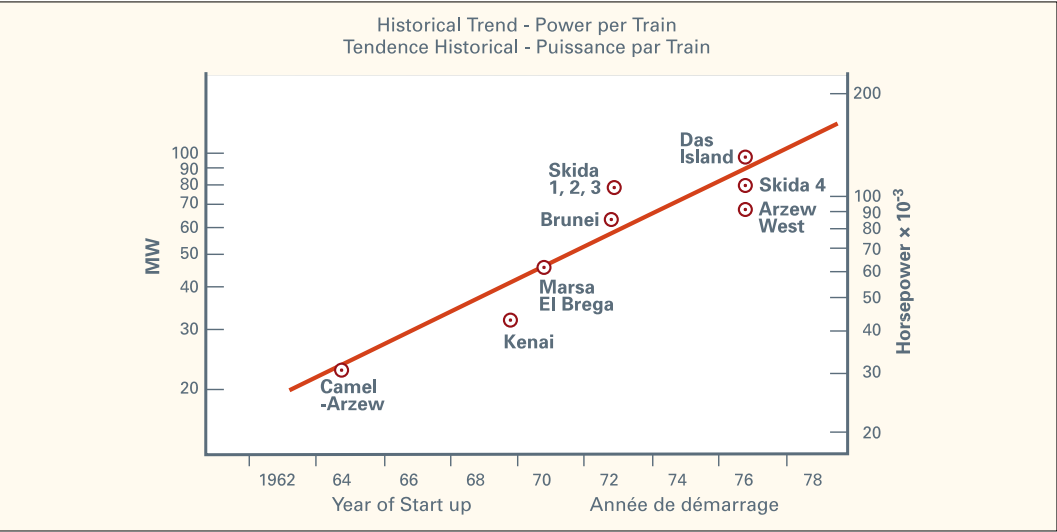


Compresor axial 4 de la planta de GNL de Skikda en Argelia de 80 MW (Naegeli, 1972: 213).



Marsa el-Brega, Argelia

Gráfico 8.2. Potencias de los compresores de los primeros sistemas de licuefacción



(Tanner, 1979: 3).

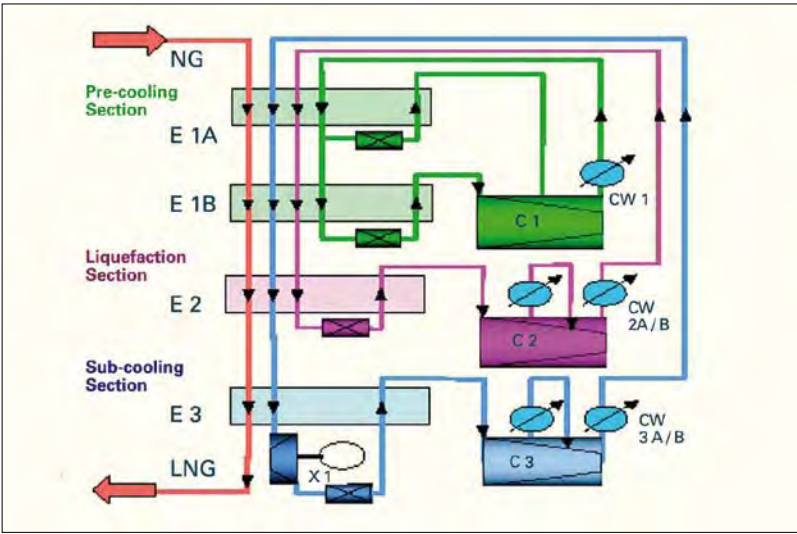
El avance en estas plantas es motivado principalmente para reducir el impacto del consumo energético en la licuación de gas.

En el año 2006 se ponía en servicio en la isla de Melkøya, en el Mar de Barents, la primera planta de gas natural licuado de Europa. Snøhvit recoge mediante gasoducto el gas de los yacimientos conocidos como Albatross y Askeladden situados en la plataforma marina noruega a unos 140 km de la isla y después de adecuarlo, separando el CO₂ y el gas propano, se licua y queda depositado para su transporte en buques metaneros. La planta utiliza un proceso desarrollado por Statoil y Linde denominado “Mixed fluid cascade process” (MFCP), que es un sistema basado en el proceso de cascada clásica.

Los refrigerantes que utiliza son una mezcla de etano y propano para el primer ciclo, el segundo ciclo es una mezcla de etano, propano y metano, y el tercer ciclo está compuesto por nitrógeno, metano y etano. Comparado con los procesos indicados anteriormente, este nuevo proceso presenta un rendimiento de la licuación del 70% , siendo el mejor rendimiento de las plantas existentes en el mundo. El compresor funciona con una eficiencia de 230 kWh por tonelada de LNG, estimándose un consumo de gas del 5%. Además es la primera planta de LNG en utilizar compresores eléctricos en lugar de turbinas de gas. Antes de Snøhvit, la planta con mejor rendimiento de su ciclo de licuefacción era la construida por Shell en Omán, que consumía el 8 % del gas para su operación (Brendeng & Hetland, 2004: 83).

Cuadro 8.17. Proceso utilizado en las plantas de GNL construidas entre los años 1960 y 2000

Planta	País	Tipo de proceso	Año de entrada en funcionamiento
Arzew	Argelia	Refrigerantes en Cascada	1963
Kenai	Alaska	Refrigerantes en Cascada	1969
Marsa el-Brega	Líbia	Refrigerante Mixto	1970
Lumut	Brunei	Propano + R. Mixto	1973
Skikda	Argelia	R. Mixto (dos presiones)	1974
Arun	Indonesia	Propano + R. Mixto	1977
Badak I (Bontang)	Indonesia	Propano + R. Mixto	1977-1983
Skikda	Argelia	R.Mixto	1981
Bitulu	Malasia	Propano + R. Mixto	1983
Karratha I	Australia	Propano + R. Mixto	1989
Badak II (Bontang)	Australia	Propano + R. Mixto	1989 -1999
Karratha II	Australia	Propano + R. Mixto	1993
Dua	Malasia	Propano + R. Mixto	1996
Point Fortin	Trinidad	Propano + R. Mixto	1999
Ras Laffan	Quatar	Propano + R. Mixto	1999
Bonny	Nigeria	Propano + R. Mixto	1999
Qualhat	Oman	Propano + R. Mixto	2000
Qualhat II	Oman	Propano + R. Mixto	2000



Esquema del ciclo de refrigeración mixto instalado en Snøhvit (Statoil).

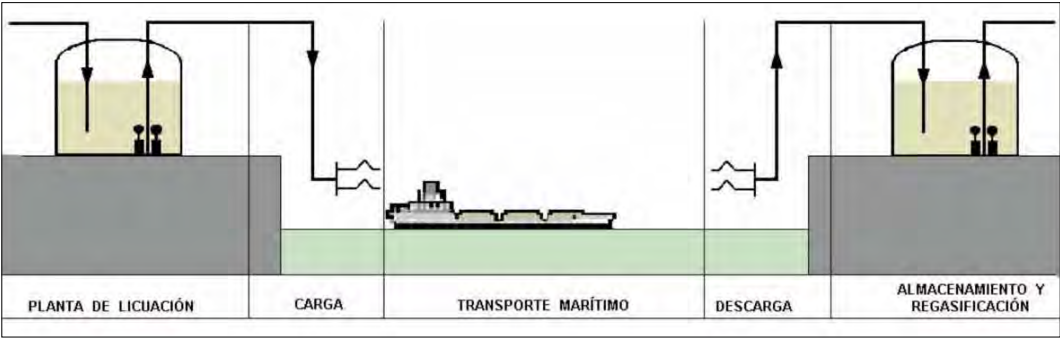
8.5. Transporte de gas natural licuado

La técnica de construcción de los buques metaneros ha estado marcada por una serie de premisas que, ya desde su inicio, influyeron totalmente en la estructura y forma del navío y en los materiales que se debían utilizar para la construcción de los contenedores del gas.

El metano líquido, el principal componente del GNL tiene una densidad de 0,42, es decir, la mitad de la que tiene el petróleo bruto y menos de la mitad respecto del agua. Ello representa que para un mismo tonelaje útil de líquido, un buque metanero tiene el doble de volumen que un petrolero. Además el material utilizado para la construcción de las cisternas debe poder soportar, sin volverse frágil ni perder sus propiedades de resistencia, la baja temperatura del gas natural licuado (-161°C). Asimismo para que este gas no se pueda calentar y evaporar debe tener un buen aislamiento térmico. Finalmente debe asegurarse que el gas natural licuado no ejercerá ninguna acción de enfriamiento sobre el acero y otros materiales que configuran el casco del buque.

Bajo todas estas premisas, el primer buque metanero se construyó en Gran Bretaña. La organización gasista *British Gas Council* decidió utilizar un buque de carga, el Normarti construido durante la II Guerra Mundial bajo el tipo de buque llamado “Liberty” con el nombre de Marline Hitch, que se reconvirtió en metanero, con la instalación de cinco tanques prismáticos de aluminio soldado, con capacidad para 2.200 toneladas de gas líquido, protegidos por un forro de madera de balsa laminada de 305 mm de espesor. El conjunto quedaba insertado dentro de un contenedor de acero. Con una capacidad de depósitos de 5.247 m³, El Normarti pasó a denominarse Methane Pioneer. Era un buque de pequeño tonelaje pero con él se hicieron las pruebas necesarias para poner en práctica este nuevo método de transporte (Journal des Usines a Gaz, 1958, 570-571).

Después de varias pruebas en el golfo de México, el Methane Pioneer hizo su primer viaje desde la instalación petroquímica de *Lake Charles* en Louisiana hasta Canvey Island (Essex), en el Reino Unido. Llegaba en febrero de 1959 a Canvey Island, y transportaba unos 5.000 metros cúbicos de gas natural líquido a -161 °C



El sistema de transporte del GNL (SEDIGAS, 2008).

—equivalentes a 2.020 toneladas. El terminal de gas de Canvey Island, que formaba parte de un complejo petroquímico ya existente desde 1939, consistía en dos depósitos de unas mil toneladas cada uno que habían sido construidos ex-profeso, también por encargo del *British Gas Council*, para el almacenamiento del gas natural licuado. La instalación representaba el inicio de la distribución del gas natural en el país y con este transporte se demostró que el proceso era posible y también seguro.

Este transporte era el resultado de todo un proceso que se inició en 1952 cuando nació la idea de transportar el gas licuado desde Louisiana hasta Chicago mediante navío por el Missisipi. Esta propuesta no prosperó pero fue recogida en 1954 por los británicos quienes la vieron factible para su propio suministro. En 1957 se iniciaba el proceso y se aprovechaba la planta de licuación que se había pensado, y empezado a construir, para el proyecto de alimentar Chicago (Doherty, 1970: 39).

Poco tiempo después se experimentaba en Francia el transporte de gas natural licuado con otro buque metanero. *Gaz de France* con sus instalaciones de licuación de Nantes hizo la prueba en otro buque, el John Lowson, también construido en la II Guerra Mundial. En 1959 este buque fue reconvertido en metanero,

siendo bautizado con el nombre de Beauvais. Fue equipado con tres cubas distintas con el fin de experimentar tanto con el material utilizado para cada una de las cubas, como con la forma de las mismas y los aislantes utilizados (*Gaz d'Aujourd'hui*, 1998, nº 3:142).

Una de las medidas más importantes a tener presentes fue la de evitar que el gas licuado volviera a la forma gaseosa debido a la temperatura existente en el exterior de las cubas. Esto se resolvía mediante la incorporación de un gran aislamiento entre las cubas y el casco del buque. No obstante el continuado contacto con la temperatura ambiente exterior ocasiona que el gas natural líquido pase al estado gaseoso dentro de la cuba que, cerrada como está, debe tener que soportar la presión de los gases evaporados que se sitúan en la parte superior de la cuba. Pese a ello, representa una ventaja ya que esta mayor presión evita algo muy importante, que penetre aire en el interior de la cuba y se pueda formar una mezcla inflamable. Precisamente otra medida importante fue que las cubas deben estar siempre exentas de aire antes de empezar la carga del gas natural licuado. Esto se hace para evitar mezclas inflamables y se consigue llenando la cuba antes de la carga con un gas inerte, que normalmente es el nitrógeno, cuando se llena de GNL, el nitrógeno va desplazándose y evita que entre aire.

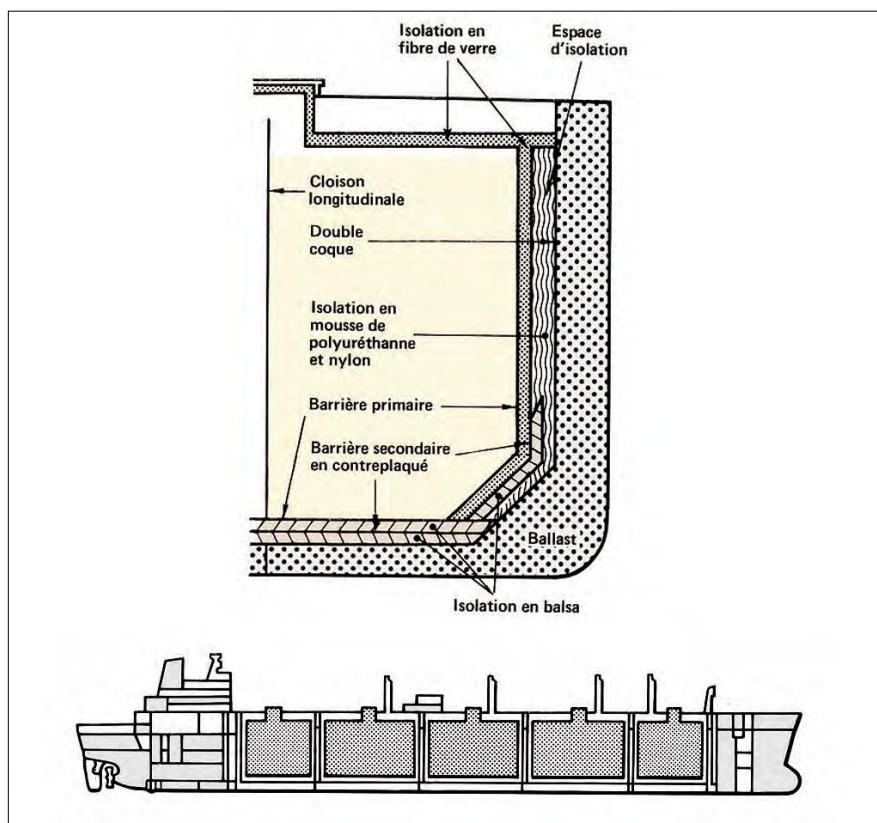
Cuadro 8.18. Las cubas experimentales del Beauvais

	Volumen	Forma	Material
Cuba 1	400 m ³	Paralelepipedéica	Aleación aluminio-magnesio
Cuba 2	120 m ³	Poli-cilíndrica	Acero al 9% de Níquel
Cuba 3	115 m ³	Cilíndrica	Aleación aluminio-magnesio

Fuente: Pilloy et Richard, 1967: 6.

En 1963 aparecen en escena dos nuevos buques metaneros británicos. Eran los primeros que habían sido construidos expresamente para tal finalidad: el Methane Princess y el Methane Progress. Su misión sería transportar el gas natural licuado entre la estación terminal de Arzew, en Argelia y la planta de Canvey Island, en el Reino Unido. Ambos tenían una capacidad de transporte de 27.400 m³ y fueron construidos por los astilleros *Vickers Armstrong* con la técnica autoportante Conch. El primer transporte se realizó en noviembre de 1964.

En marzo de 1965 el buque metanero francés Jules Verne, comenzaba a transportar gas natural desde la estación Terminal de Arzew, hasta la planta de Le Havre, en Francia. Había sido construido también expresamente para tal finalidad, después de seis años de investigaciones y diseños, sin utilizar, según se indica, ninguna de las 2.700 patentes existentes en el prototipo Metane Pioneer. Se utilizó también la técnica autoportante diseñada por la empresa francesa *Gaz-Transport*, la capacidad de sus 7 cubas era



Detalle de la técnica Conch utilizada en los buques metaneros ingleses (ATG, 1990: 468).

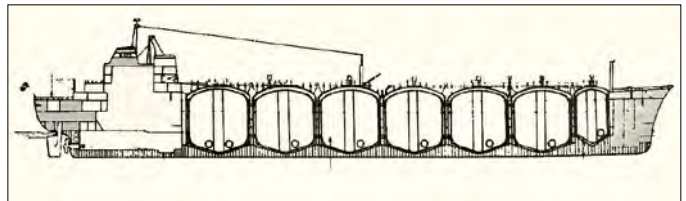
de 25.840 m³, seis de 4.120 m³ y una de 1.120 m³. Pero pese a que era capaz de transportar 12.000 toneladas de gas licuado, el buque tenía un tamaño similar al de un petrolero de 28.000 toneladas, a causa de la menor densidad del gas natural licuado (Reiriz, 1976: V/3-6).

Estos dos buques fueron construidos con cisternas autoportantes, una técnica que representaba instalar dentro de sus bodegas recipientes metálicos independientes del casco del buque, dentro de los cuales estaría el gas natural licuado. En los dos buques ingleses los nueve recipientes de que estaba provisto eran paralelepípedos, mientras que en el francés los siete que llevaba eran cilíndricos y puestos de forma vertical. Ambos presentaban ventajas y desventajas de uno con respecto al otro; una de ellas era que mientras el paralelepípedo ofrece mayor adaptabilidad a la forma del buque para poder tener una mayor capacidad, el cilíndrico para el mismo volumen necesita menor cantidad de material para su construcción. El aislamiento de los buques británicos estaba constituido por madera de balsa de 12 a 20 pulgadas, mientras que en el buque francés se eligieron diversos materiales aislantes, la mayoría en forma de polvo que se aplicaron “in situ” (Reiriz, 1976: V/4).

En lo que se refiere al material utilizado para la construcción del recipiente, el hecho de trabajar a la temperatura de 161 °C bajo cero y tener que mantener resistencia y no presentar fragilidad, requería recurrir o bien al aluminio o bien al acero pero con aleación de níquel. Sin embargo al ser el aluminio un material delicado por su mala maleabilidad y difícil soldadura se utilizó en estos buques el acero con una aleación del 9% en níquel, que era menos costosa en aquel momento. También debe de considerarse que los recipientes pasan en su primera carga, de estar a una temperatura ambiente de 20 °C a estar a -161 °C con la consiguiente contracción de la



El buque Jules Verne (Gas Natural , S.A.).

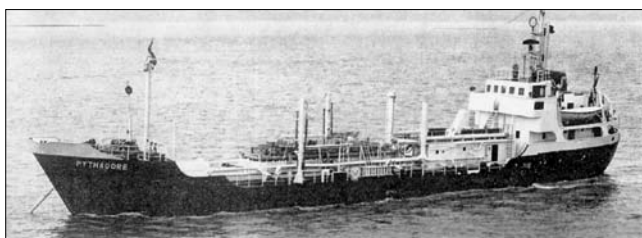


Detalle de la técnica del buque Jules Verne, 1965
(Pilloy et Richard, 1967: 7).

estructura metálica a medida que va llenándose de líquido, lo que se traduce en esfuerzos que deben ser amortiguados por las capas intermedias. Así pues en la construcción de los recipientes y sus anclajes con la estructura del buque debían de considerarse las contracciones y dilataciones del material, los esfuerzos estáticos con la cuba llena, y los esfuerzos adicionales que recibiría debidos al movimiento del buque en circunstancias de gran oleaje.

Los recipientes estaban aislados para limitar el flujo térmico y mantener la temperatura deseada, pero también se dotaron además de una segunda pared estanca para poder recoger el gas en caso de fuga. Un segundo aislamiento quedaba entre este segundo recipiente y el casco del buque, para que, en el caso de fuga, el casco no llegara a las bajas temperaturas que tendría el segundo recipiente con gas licuado.

Antes de los años sesenta el transporte de metano por mar era poco menos que impensable, pero con la licuación, la entrada en funcionamiento de los primeros buques y la paulatina ampliación del tráfico de gas natural, conllevó que la tecnología de construcción de los buques metaneros fuese siendo modificada y que a su vez esta fuese dotando una flota de navíos de mayor capacidad y seguridad.



Pythagore, el primer buque de transporte de metano y etileno con cubas integradas (GAZOCEAN).

Por una parte se construyeron buques cuyos nuevos contenedores de gas estaban integrados en la misma carcasa del buque en lugar de ser recipientes sobrepuestos. Ya en el Jules Verne se había incorporado un recipiente experimental de esta topología y que se perfeccionó con la construcción de otro buque el Pythagore con depósitos de membrana de acero 18/8 Ni-Cr de 1mm de grosor y de 300 m³ de volumen cada uno. Fue puesto en servicio en 1964 por la sociedad francesa *Tecnigaz* (*Gaz d'Aujourd'hui*, 1973: p.243).

Estos recipientes integrados también se conocen como “recipientes de membranas” y se impusieron frente a los anteriores por su menor coste. También se adoptó un nuevo material con un menor coeficiente de dilatación. Conocido como invar, era un acero con un 36% de aleación de níquel. También el diseño de la forma de la cuba y el sistema de aislamiento fue importante para mejorar toda la estructura mecánica del recipiente contenedor. A partir de 1966 *Tecnigaz* y *Conch* trabajaron juntas para perfeccionar la técnica de membranas y adaptarla a buques de mayor tamaño, el primero de los cuales fue el Descartes, de 50.000 m³.

Por otra parte y también con la técnica de membranas *Gaz -Transport* construyó sus primeros buques comerciales, fueron el Polar Alaska y el Arctic Tokio, puestos en servicio desde 1969 en la ruta entre Alaska y Japón. De los 27.400 m³ de capacidad que tenían los primeros buques se pasó, en estos dos buques, a 71.500 m³ de gas natural licuado.

Por otra parte se desarrolló una nueva generación de depósitos autoportantes, basados en la reducción o eliminación de la segunda pared estanca de seguridad, así como el desarrollo de recipientes que podían ser construidos fuera del buque e instalados posteriormente. Ello fue posible con la adopción de depósitos a presión, la experiencia de los buques construidos y un análisis más preciso de los esfuerzos de cada punto de los recipientes

para poder determinar el alcance de la reducción en la construcción de la segunda pared. Asimismo se trabajó en diseños de la barrera de aislamiento térmico que rodea a la superficie exterior de los depósitos para mantener dicha baja temperatura reduciendo al mínimo el flujo de calor ambiente hacia adentro del mismo.

En 1971 la empresa sueca Kvaerner desarrolló un contenedor independiente autoportante de tipo esférico de 88.000 m³ de gas, una técnica que

había sido diseñada por *Moss-Rosenberg* (Curt, Bob, 2004). Bajo este nuevo concepto nacieron los buques con recipientes esféricos. Un buque experimental con este tipo de recipientes, el *Euclides*, fue puesto en servicio en 1971 por la sociedad francesa *Tecnigaz*, y en 1973 se ponía en servicio el *Norma Lady*, el primer buque metanero con cubas esféricas construidas con acero con aleación de níquel al 9%. Con posterioridad los depósitos también se han construido de aluminio.

Cuadro 8.19. Buques metaneros en servicio a 1 de septiembre de 1974

Nombre	Capacidad (m ³)	Técnica utilizada en las cubas	Año de botadura	Constructor
Methane Princess	27.400	Autoportante Conch	1964	Vickers (G.B.)
Methane Progress	27.400	Autoportante Conch		Harland and Wolf (G.B.)
Jules Verne	25.500	Autoportante Worms-GDF	1965	Ateliers et Chantiers de la Seine Maritime (Francia)
Polar Alaska	71.500	Membranas Gaz Transport	1969	Kockums (Suecia)
Arctic Tokio	71.500	Membranas Gaz Transport	1969	Kockums (Suecia)
Esso Brega	40.000	Autoportante Esso	1969	Italcantieri (Italia)
Esso Porto Venere	40.000	Autoportante Esso	1969	Italcantieri (Italia)
Esso Liguria	40.000	Autoportante Esso	1970	Italcantieri (Italia)
Laietà	40.000	Autoportante Esso	1970	Astano (España)
Descartes	50.000	Membranas Technigaz	1971	Ch. Atlantique (Francia)
Hassi R'Mel	40.000	Membranas Gaz Transport	1972	C.N.I.M. (Francia)
Gadinia	75.000	Membranas Technigaz	1973	Ch. Atlantique (Francia)
Gadila	75.000	Membranas Technigaz	1973	Ch. Atlantique (Francia)
Venator	29.000	Autoportante Moss	1973	Moss-Rosenberg (Noruega)
Norma Lady	87.500	Autoportante Moss	1973	Moss-Rosenberg (Noruega)
Tellier	40.000	Membranas Technigaz	1974	La Ciotat (Francia)
Gari	75.000	Membranas Technigaz	1974	Ch. Atlantique (Francia)
Gastrana	75.000	Membranas Technigaz	1974	Ch. Atlantique (Francia)
G.N.L. Challenger	87.500	Autoportante Moss	1974	Moss-Rosenberg (Noruega)

Fuente: Institut Français du Pétrole, 1975: .III-38.

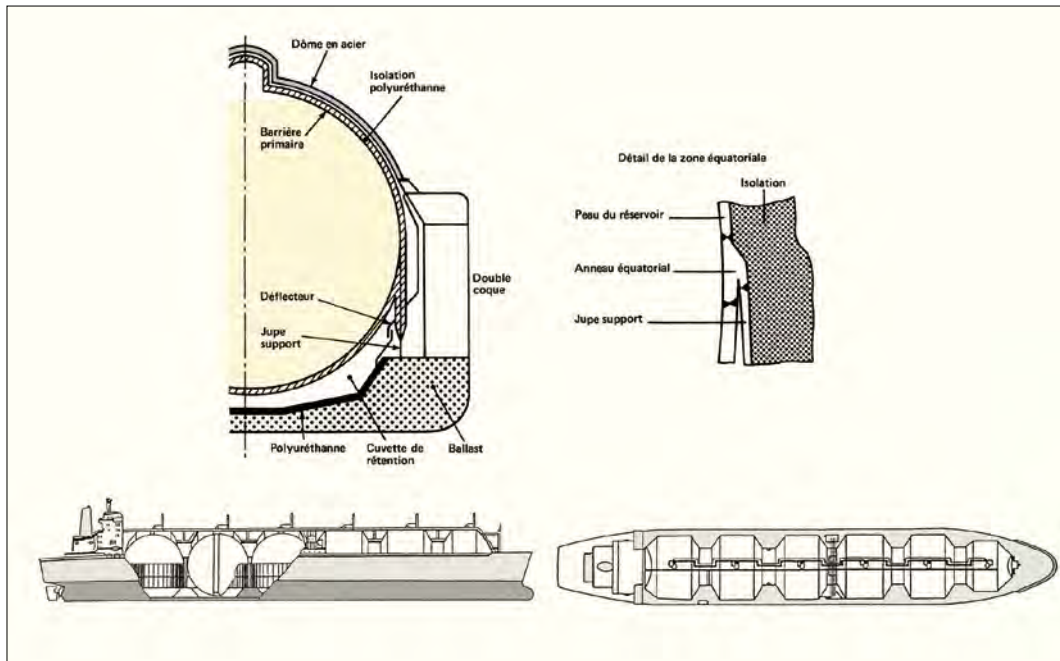
8.5.1. Tecnología de los buques metaneros

A partir de 1974 se han ido desarrollando los dos tipos de técnicas de diseño de cubas utilizados en los buques, la técnica que utiliza cubas independientes y auto sostenidas, que son principalmente del tipo Mos- Rosenberg de estructura esférica, y la técnica que utiliza las cubas integradas de membrana, utilizada por *Gaz Transport* y *Technigaz*.

Las primeras, es decir las cubas auto-soportadas, no forman parte de la estructura del casco del buque y por tanto tampoco contribuyen a la resistencia mecánica del mismo, mientras que las segundas sí forman parte del casco del buque y quedan constituidas por una pared estanca, y que se soporta en la estructura propia del buque



Buque metanero “Venator” el primero construido en 1973 con la técnica Moss-Rosenberg (Cortesía y copyright de *Moss Maritime, Noruega*).



Detalle de un buque construido con la técnica Moss Rossemberg (ATG, 1990: 469).

Las cubas independientes iniciaron su utilización incorporando una barrera secundaria completa que debía soportar un posible escape de gas natural licuado a través de la pared principal. Pero con la experiencia obtenida de la práctica, la técnica de construcción se ha decantado por la construcción de una barrera secundaria parcial después de observar el comportamiento de la cuba principal y el control de las fisuras, desestimándose la barrera completa que tenían los primeros prototipos.

La experimentación con el transporte marítimo de gas natural licuado ha conducido actualmente a que sean fijados los dos parámetros esenciales de diseño de las cubas instaladas en el buque, en lo que se refiere al contenido transportado; por una parte, la presión máxima que deben soportar las cubas en las distintas paredes, y por otra, el máximo porcentaje de evaporación diario de gas natural licuado.

Así pues un buque de transporte de gas natural licuado tiene un casco doble, como otros

buques de carga, y unas cubas de almacenamiento de gas, que pueden ser prismáticas o esféricas, cuya superficie exterior se cubre con un material aislante y que se sustentan por soportes entre el revestimiento exterior de la cuba y el revestimiento interior del casco. La fluctuación de la temperatura en las cubas ejerce su influencia en el material mediante contracciones o dilataciones que normalmente son absorbidas por la misma estructura que ha sido diseñada para poderlas soportar. Dispone de purgadores para descargar el gas natural líquido filtrado procedente del espacio que hay entre el tanque y el material aislante que constituye un cierre hermético.

Los aislantes utilizados en la construcción de la cuba han sido varios. La madera de balsa, una madera de poca densidad y de gran poder aislante es uno de los más utilizados. También se han utilizado la perlita sola o en combinación con PVC y más recientemente se ha introducido la fibra de vidrio mezclada con granulado de poliuretano.

Cuadro 8.20. Tecnologías de construcción de buques

Tecnología	Cuba principal	Aislamiento térmico
<i>Conch I</i>	Aleación de aluminio-manganeso AA 5083	Madera de balsa y fibra de vidrio
<i>Gaz Transport</i>	Membrana ondulada fabricada en acero <i>invar</i> al 36% de Níquel	Dos capas de cajones en contraplacado rellenos de perlita
<i>Worms/GDF</i>	Acero al 9% de Níquel	PVC y perlita
<i>Esso</i>	Aleación de aluminio-manganeso AA 5083	PVC y madera de balsa
<i>Tecnigaz</i>	Membrana tipo gofre con dos familias de ondulaciones ortogonales. Construida con acero inoxidable 18/8	Madera de balsa
<i>Moss</i>	Aleación de aluminio (también las hay de acero al 9% de Níquel)	Existen variantes constructivas: PVC, o poliuretano y fibra de vidrio, estireno y fibra de vidrio
<i>Conch II</i>	Aleación de aluminio-manganeso AA 5083	Poliuretano y fibra de vidrio

Detalle de un buque construido con la técnica Moss Rosseberg (ATG, 1990: 469).

Otro aspecto es que la cuba no se puede llenar completamente pues debe dejarse un espacio para contener el gas natural evaporado. Este espacio, que oscila entre el 2 y el 5% de la capacidad de la cuba, dependerá de los días de trayecto entre carga y descarga, en previsión de una evaporación diaria y que la presión del gas en la parte superior dentro de la cuba no supere el valor de referencia de diseño de la misma.

La operación de carga y descarga del gas natural licuado es la más importante en el proceso de transporte, y de entre ellas la primera carga es la más delicada. Ya se ha indicado anteriormente que para evitar posibles inflamaciones del gas, en las cubas no puede haber aire en su interior. Tampoco lo puede haber en ninguno de los conductos, mecanismos, equipos o compresores que constituyen el trayecto entre el buque y los depósitos, ni en general en los espacios de los que pueda presentarse una mezcla inflamable.

Tampoco se puede vaciar completamente un depósito porque la existencia de gas natural licuado garantiza que la cuba se mantiene a la temperatura de $-161\text{ }^{\circ}\text{C}$, y el gas natural evaporado dentro de la cuba con una presión superior a la atmosférica garantiza que no entrará aire en su interior. Además el gas evaporado se utiliza como combustible en el navío, tanto en su viaje de ida como en el de retorno. Así a diferencia de los petroleros, que cargan de agua de mar los tanques para lastrar, en los metaneros el lastre siempre va en recipientes separados de la carga. No obstante la menor densidad del gas natural licuado provoca que la diferencia de calado del buque entre vacío y lleno sea menor de 1,5 metros.

Los buques metaneros no son propulsados por un motor Diesel, son propulsados por un sistema de vapor que acciona una turbina de

vapor. Las dos calderas de que consta el buque están alimentadas por fuel-oil, pero también se alimentan del gas natural procedente de la evaporación del gas licuado de las cubas. Esta es otra de las características de estos buques, que la carga a su vez forma parte del sistema de propulsión.

El incremento de consumo de gas natural ha ejercido una notable influencia en el transporte de gas natural licuado. Si en 1970 había 5 buques en servicio, en 1985 eran ya 65 y en 1995 la cifra llegaba a 90 buques. Los buques han ido creciendo en tamaño. De los 40.000 m^3 iniciales se llegó a 138.000 m^3 en 1994, pero pese a este incremento en capacidad, los metaneros siguieron siendo los navíos cuya construcción era más delicada y de mayor costo que cualquier otro buque de carga. Esta situación queda influenciada básicamente por la técnica de construcción de las cubas, pues estas deben mantener el gas natural licuado sin posibilidad de rotura, ni aumento significativo de su temperatura durante el transporte. En lo que respecta a las técnicas utilizadas cabe decir que las cubas esféricas han tenido mayor difusión que las estructuras de membranas. En el período de 1986 a 1995 se pusieron en servicio 25 buques, de los cuales 18 incorporaron la técnica de cubas esféricas *Moss*. La capacidad de las cubas era en casi todos ellos superior a los 125.000 m^3 siendo la mayor capacidad.

Si los metaneros más antiguos presentaban un porcentaje de evaporación del 0,25 % por incremento de la temperatura en tanque a causa de los materiales de que estaba formado el aislamiento, actualmente se puede considerar que las mejoras introducidas han reducido la tasa de evaporación hasta el 0,10 %.

En el año 2006 el mayor buque metanero era el *Provalys*, construido en los astilleros *Chantiers*

Cuadro 8.21. Buques metaneros puestos en servicio y su tecnología

Tecnología de contenedores	1964 a 1985	1986 a 1995	1996 a 2005
Esféricos Moss-Rosenberg	27	18	40
Otros tipos autosoportados	4	2	0
Integrados Gaz Tansport	23	4	37
Integrados Technigaz	11	1	4
Total	65	25	81

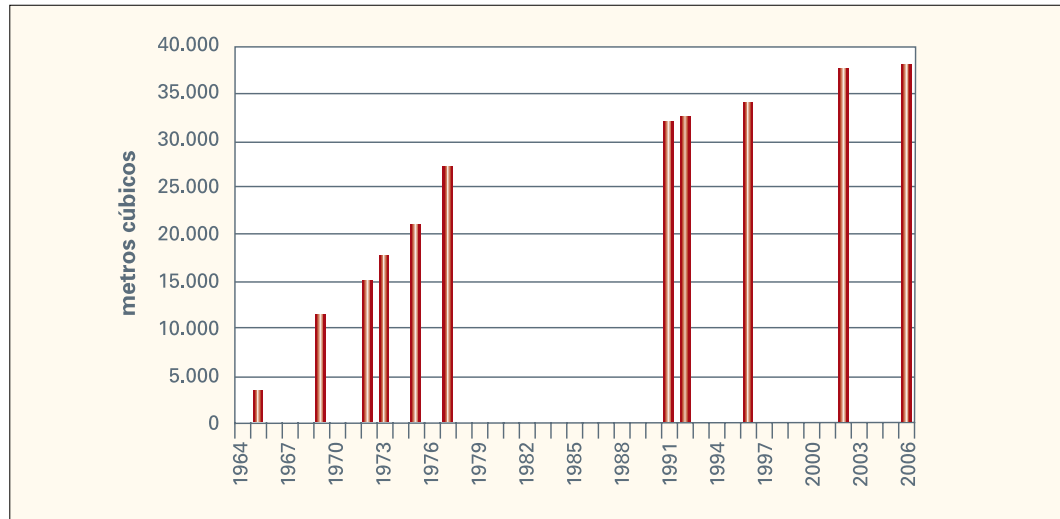
del'Atlantique en Saint Nazaire (Francia) y botado en 2005. El buque tiene una capacidad de transporte de 154.500 m³, tiene una eslora de 290 metros por una manga de 43 metros. Utiliza una nueva técnica de membrana denominada CS1. La mejora está básicamente en la segunda membrana o barrera de contención del gas, a partir de nuevos componentes como el aluminio y la fibra de vidrio. Fue diseñada por Gaz Technique Transport unos años antes, sin embargo se construyeron pocas unidades. En 2007 el buque Al Ruwais, construido en Corea llegaba a los 210.100 m³ y en 2008 el buque

Al Ghuwairiya también construido en Corea, alcanzaba los 261.700 m³. Ambos utilizan la técnica de membranas tipo GT96 experimentada y desarrollada por Gaz Technique Transport desde mediados de los años 90 y que sigue aún plenamente vigente y es la mayoritariamente utilizada. Le siguen los buques que utilizan la técnica de cubas autoportantes Moss-Rosenberg que tienen actualmente una capacidad máxima de 153.000 m³. Otra técnica de membranas utilizada, aunque minoritaria, es la TGZ Mark III, desarrollada principalmente a partir del año 2000 por Tecnigaz.



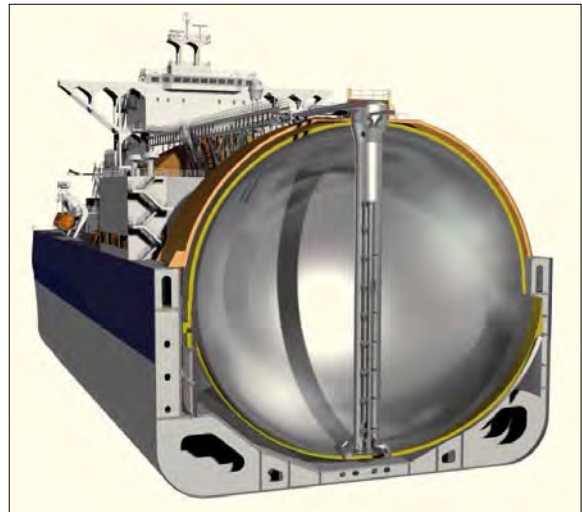
El buque metanero Provalys en Montoir de Bretagne (www.marineTraffic.com).

Gráfico 8.3. Evolución de la capacidad de las cubas de GNL en buques



La seguridad del transporte de gas natural exige una serie de medidas, unas introducidas en el diseño y construcción del buque y otras relativas a la operativa del transporte.

Obviamente en caso de rotura de la doble barrera, el gas natural licuado se evapora saliendo del navío y a la menor chispa puede llegarse a inflamar si la mezcla de aire-gas se encuentra dentro de los límites de combustión. Con estas condiciones el navío no puede explosionar pues el gas natural licuado que queda en el interior no se puede inflamar si no está en contacto con el aire. No obstante en numerosos países cuando un navío metanero se dispone a llegar a un puerto de descarga no se permite otra circulación que la del metanero.



La técnica Moss de recipientes esféricos se ha impuesto en el transporte de gas natural por mar. Corte de un recipiente esférico.
(Cortesía y copyright de Moss Maritime, Noruega).

8.5.2. Flota de metaneros utilizada en España

En España el primer buque metanero fue el *Laietà*. Fue construido en astilleros españoles Astano e impulsado por la sociedad *Naviera de Productos Licuados* (NAPROLI), que fue la propietaria del buque. Este buque tenía 207,8 metros de eslora y 29,3 metros de manga, desplazando en carga un total de 25.000 toneladas. Equipado con dos turbinas de vapor con un total de 15.000 CV de potencia podía navegar a una velocidad máxima de 18 nudos. Las calderas utilizaban normalmente gas metano regasificado procedente de los tanques de carga y también fuel-oil. Se puso en servicio en junio de 1969.

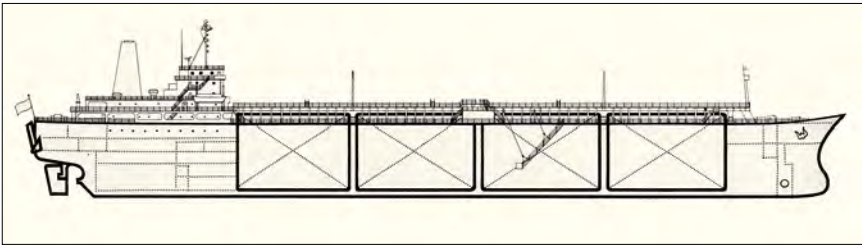
La tecnología de tanques en que se soportaba el buque *Laietà* era del tipo autoportante y había sido diseñada por Esso. Igual que otros tres construidos en Italia para la misma finalidad, el transporte de GNL desde Libia. Tenía 4

depósitos fabricados en duraluminio de 28,9 m de largo por 24,3 de ancho y 20,55 m de alto, aproximadamente, porqué los cuatro al estar adaptados a las medidas del buque no eran iguales exactamente. Además los tanques estaban divididos en dos mitades por medio de una pared vertical que alcanzaba 15 metros de altura, casi la totalidad de la altura del recipiente. Se llenaba hasta el 98,5 % de su capacidad.

Podía contener pues hasta 40.000 m³ de gas. Los cuatro tanques eran de doble forro. El forro exterior era también de acero para proteger la estructura del casco del buque en caso de perforación del recipiente principal y entre ambos se colocaba el recubrimiento aislante. Estaba dotado de dos barreras protectoras, llamadas Innerbarrier y la Outerbarrier, nombre con que se conocían los espacios de seguridad que separan la cuba del casco del buque. Se solían dejar entre 1.000 y 1.500 m³ de gas en cada tanque.

Cuadro 8.22. Capacidad en m³ de los cuatro tanques del *Laietà*

Tanque 1	Tanque 2	Tanque 3	Tanque 4
8.535	10.785	10.815	10.440



El buque *Laietà* con sus cuatro depósitos de gas natural licuado (Gas Natural S.A.).

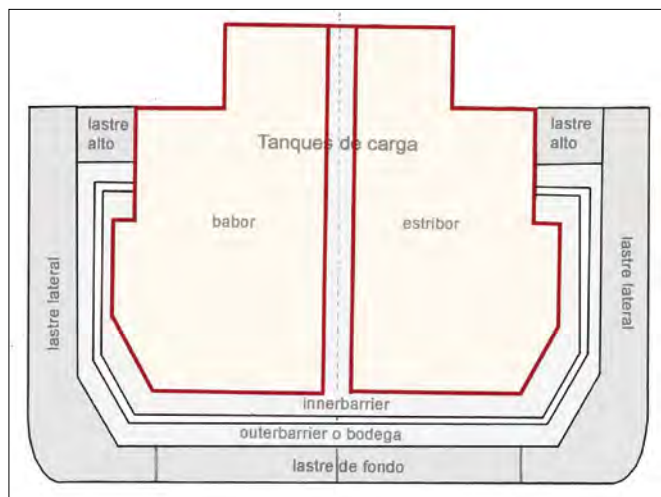
Los tanques se aislaban con madera de balsa y sujetaban con calzos también de madera de balsa y teflón. Entre las dos barreras protectoras de seguridad se mantenía un espacio estanco que se llenaba de gas nitrógeno. Los conductos exteriores de gas licuado estaban contruidos con acero inoxidable, mientras que los interiores eran en aluminio. Para el llenado contaba con

dos bocas de entrada, una para cada mitad de las cubas.

En la operación de descarga se conectaban las tres bocas de conexión a tres brazos articulados, dos para la descarga y uno para la introducción de gas para mantener una presión adecuada en tanques e impedir la entrada de aire.

Es usual que cada buque metanero esté asignado a un transporte fijo entre terminales de carga y terminales de descarga. Por ejemplo entre otros muchos otros, los transportes que más destacan son los que circulan entre Alaska y Japón, entre Australia y Japón, entre Argelia y Francia, o entre Abú-Dhabi y Japón, o Indonesia y Corea del Sur.

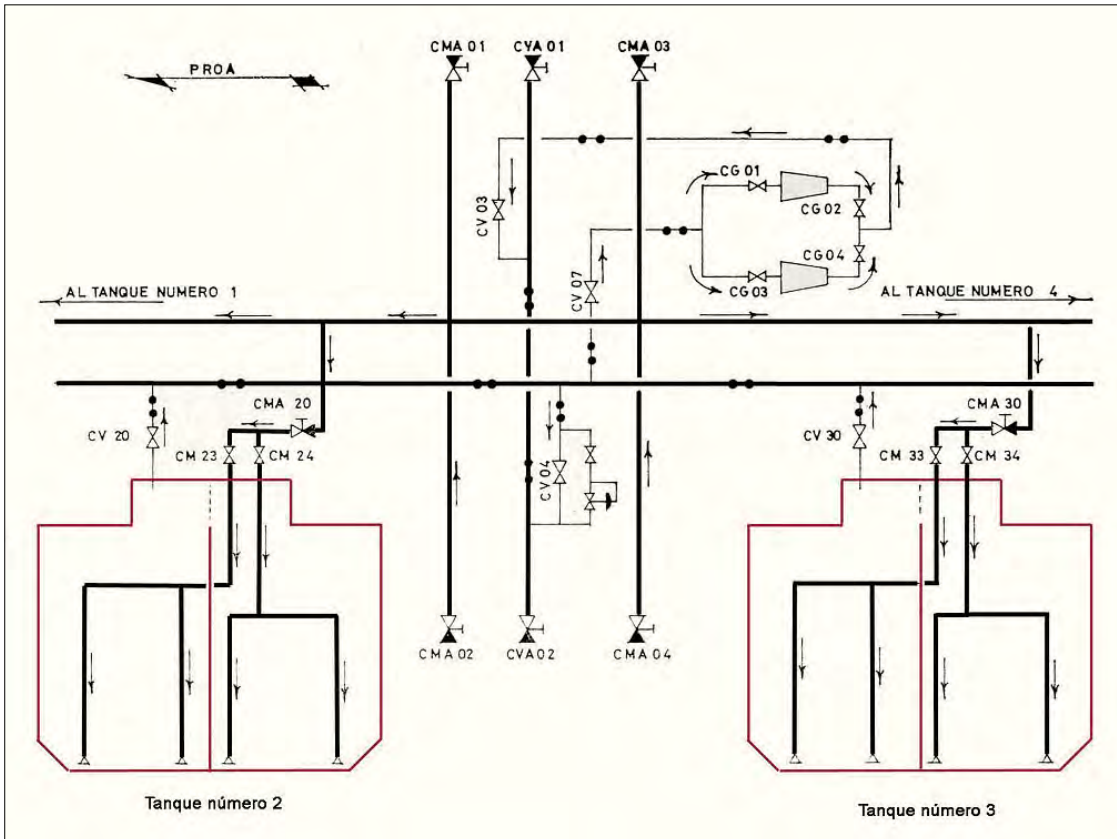
Después del Laietà, se incorporaron otros buques para efectuar el transporte de gas natural hasta las terminales españolas. Sin embargo al ser los desplazamientos por el mar Mediterráneo menos largos que los intercontinentales, por ejemplo entre Argelia y Estados Unidos o entre Australia y Japón, los buques que hacen las rutas mediterráneas entre Argelia, Libia, Italia, España o la costa mediterránea de Francia son buques de menos capacidad de transporte. Así pues



Detalle del sistema de depósito del buque Laietà (Reiriz, 1976: pl.17).



El Buque Laietà en el puerto de Barcelona (AHFGNF).



Ciclo de carga de un metanero (Reiriz, 1976: pl.6).

los primeros buques que habían iniciado el transporte de gas licuado en el mundo han estado asignados posteriormente al transporte por el Mediterráneo. Por esta causa, el Methane Princess, con su capacidad de 27.400 m³ cambió su servicio entre Argelia y Gran Bretaña por Argelia o Libia y España y su gemelo el Methane Progress fue desguazado en 1986 después de 22 años en servicio.

También los buques Arctic Tokio y Polar Alaska que efectuaban el servicio entre Alaska y Japón con sus 71.650 m³ cambiaron su ruta habitual por la ruta de Argelia a España, pero también con transportes desde Australia o Abu Dhabi hasta España cuando era necesario.

En 1995, la flota de metaneros que suministraban a las terminales españolas era la siguiente:

Cuadro 8.23. Buques metaneros en 1995 que suministraban a la red española.

Nombre	Capacidad (m³)	Técnica del tanque	inicio	Servicio
Methane Princess	27.400	Conch	1964	Argelia o Libia - España
Cinderella (ex Jules Verne)	25.500	Worms/ GDF	1965	Argelia - Italia o España
Snam Palmaria	40.500	Esso	1969	Argelia - Italia o España
Methane arctic (ex Arctic Tokio)	71.650	Gaz Transport	1969	Argelia o Australia o Abu Dhabi - España
Metane Polar (ex Polar Alaska)	71.650	Gaz Transport	1969	Argelia o Australia o Abu Dhabi - España
Laietà	40.500	Esso	1970	Argelia o Libia - España
Snam Elba	40.500	Esso	1970	Argelia o Libia - España o Francia
Descartes	50.000	Technigaz	1971	Argelia - Francia o España
Tellier	40.100	Technigaz	1973	Argelia - Francia o España
Havfru	29.300	Moss	1973	Argelia o Libia - España
Century	29.500	Moss	1974	Argelia o Libia - España
Annabella	35.500	Gaz Transport	1975	Argelia o Libia - España
Isabella	31.700	Gaz Transport	1975	Argelia o Libia - España



El buque Methane Princess en Bilbao en diciembre de 2008
(P.Calcedo – www.MarineTraffic.com).

Pocos de los buques metaneros citados han sido retirados del servicio. El Cinderella es el buque más antiguo que parece sigue operando. Pero a finales de 2009 las empresas gasistas españolas habían incorporado otros buques de mayor envergadura, para operar en las distintas

rutas que nutren al sistema de terminales GNL españoles. El cuadro muestra los más significativos y todos han sido construidos mediante la técnica de membranas desarrollada por Gaz Technique Transport.

Cuadro 8.24. Buques incorporados al transporte de GNL hasta 2009.

Nombre	Año	Capacidad (m³)
Hispania Spirit	2002	140,5
Castillo de Villalba	2003	138,1
Catalunya Spirit	2003	138,1
Galicia Spirit	2004	137,8
Cadiz Knutsen	2004	140,5
Madrid Spirit	2004	138,1
Bilbao Knutsen	2004	138,1
Iberica Knutsen	2006	138,0
Solar Grand	2006	145,8
Maersk Methane	2008	165,0

Fuente: Stream (Repsol-Gas Natural LNG).



El buque metanero Cádiz Knutsen de 284,4 metros de eslora en la terminal de Enagas de Barcelona. Su velocidad máxima es de 19,4 nudos y fue el segundo buque de transporte de GNL construido en los astilleros Izar -hoy Navantia- en Puerto Real (Cádiz). (www.visualships.com - Carlos Poveda).



El buque metanero Madrid Spirit descargando el gas natural licuado. También construido en los astilleros Izar de Puerto Real (Cádiz), está equipado, igual que los de la misma serie, con 4 tanques de membranas lisas fabricadas con acero Invar GTT, además de tener doble casco y doble fondo (www.streamrgn.com).

8.6. Plantas de gas natural licuado

En los años cincuenta y posteriores, los trabajos relacionados con la etapa de exploración del espacio proporcionaron el conocimiento de nuevos materiales que debían soportar las temperaturas extremas que se encontraban en las capas exteriores de la atmósfera. Los satélites y los cohetes espaciales contenían fluidos y aunque en estos casos los recipientes eran pequeños, el material debía soportar temperaturas extremas. Ello permitió avanzar en el estudio y obtención de nuevos materiales criogénicos.

Las nuevas técnicas permitieron un avance destacado que se aprovechó tanto para los buques como para las instalaciones fijas. Para mantener el gas en su estado líquido y a $-161\text{ }^{\circ}\text{C}$ los depósitos deben estar constituidos por el recipiente interno que está en contacto con el GNL, una capa de aislamiento y un recipiente externo que cubra la capa de aislamiento.

Uno de los aspectos importantes ha sido que, como en los buques, el depósito interno mantuviera la resistencia mecánica a aquella temperatura y que las contracciones y dilataciones que tengan las paredes sean soportadas por la estructura. El aluminio es un material adecuado, que resiste las bajas temperaturas pero a causa de su alto coeficiente de dilatación no puede colocarse junto con el hormigón en grandes recipientes. Por otra parte, el hormigón a muy bajas temperaturas se vuelve poroso y si se coloca solo como recipiente se darían fugas del líquido. Por tanto la forma más adecuada ha sido hacer un depósito de hormigón pretensado con acero al 9% de níquel y con un recubrimiento de chapa de acero en la parte interior. La chapa de acero puede ser inoxidable pero este material tiene un alto coste, o también acero al 9 % de níquel, que es el que se ha estado utilizando generalizadamente.



El buque Norman Lady en Sagunto en septiembre de 2008
(M.Hernandez – www.MarineTraffic.com).

En los años sesenta, paralelamente al desarrollo de los buques de transporte de GNL se volvió a plantear, necesariamente, el desarrollo de la tecnología de almacenamiento de gas natural licuado, entonces se trabajó con una nueva posibilidad, alternativa a los depósitos en superficie, se trataba de colocar depósitos metálicos enterrados mediante una nueva técnica de construcción.

Fue la empresa *Conch International Methane Ltd.* la que experimentó esta nueva técnica, que consistía en excavar un agujero lo suficientemente grande para poder contener una capacidad de 30.000 a 50.000 m³ de gas licuado y construir la estructura capaz de resistir la presión del gas. El terreno que debía contener el depósito se pre-congelaba entre -24 y -40°C, tomando una forma cilíndrica mediante perforaciones en el suelo y la inserción de barras conectadas a un sistema refrigerante. Todo el conjunto quedaba enterrado y refrigerado. Dos depósitos de estas características fueron construidos en Arzew (Argelia) y Carlstadt (Nueva Jersey, USA) a final de los años sesenta (Clark, 1967: 15).

El depósito de Arzew estaba colocado en la arena, a una profundidad de 34,8 metros sobre un estrato de margas. Encima del cual se colocaron losas de fibra de vidrio de aislamiento y encima de ellas el hormigón. La pared también era de hormigón y sobresalía 1,8 metros sobre el nivel del mar y la parte superior era de aluminio soportado por una estructura de acero al carbono. Podía contener hasta 38.200 m³ de GNL.

Este sistema de depósitos enterrados ya funcionaba en Estados Unidos, se utilizaba gas propano licuado, que se mantenía líquido a mayor temperatura que el metano.

Sin embargo esta técnica no se ha desarrollado tanto como la técnica de depósitos al aire.

La irrupción en los años sesenta del transporte de GNL y la necesidad de mantener el gas como reserva, empujó el diseño de depósitos capaces de soportar la baja temperatura del gas natural licuado y sin refrigeración mantener la evaporación que siempre existía, en valores pequeños o irrelevantes.

Debe hacerse notar que en todos los recipientes de gas natural licuado no se dispone de ningún sistema de refrigeración, el líquido se mantiene a -161 °C mediante la ayuda del aislamiento con el exterior y también con la ayuda de la evaporación. Con el gas a tan baja temperatura no se puede evitar que exista una cierta evaporación y para que esta se produzca necesita calor, precisamente este calor lo proporciona el gas licuado, con lo que para evaporarse el gas se enfría. Cada vez que alguna porción de gas licuado se evapora se auto enfría el líquido, el gas permanece en la parte superior del depósito y a medida que hay más gas va aumentando la presión y a medida que hay más presión al gas le cuesta más evaporarse y se establece un equilibrio entre la presión y la temperatura. La cantidad de gas evaporado se controla con el diseño del aislamiento y con la capacidad de soportar presión del depósito.

La construcción de depósitos en la superficie también se ha perfeccionado. Pero se ha considerado que, por seguridad, el depósito de gas natural licuado debe tener un contenedor externo con capacidad para retener el posible líquido que escape por fuga. Este diseño ya se efectuó en el depósito experimental de Nantes, en Francia, uno de los primeros de Europa construido para contener gas natural licuado. Tenía 500 m³ de capacidad y 10 m de altura, fue construido con plancha de acero al 9,75 % de níquel de 4 mm de espesor, con un aislamiento térmico de plancha de corcho de 60 cm en la parte del suelo y del techo, y en la pared vertical con 36 cm de plancha

de corcho más una capa de lana mineral de 24 cm reforzada con láminas de madera de balsa. En esta pared quedaban 3 cm de espacio que se rellenó de nitrógeno a presión. La pared externa también era de acero. El depósito se instaló en el interior de una cubeta que tenía por misión recoger el gas natural licuado en caso de rotura.



Depósito de Nantes (Richard et Biaï, 1961: 16).

Sin embargo al rellenarlo con el gas a $-161\text{ }^{\circ}\text{C}$ se comprobó que el aislamiento utilizado no fue suficiente, ya que en la parte baja de la superficie exterior del depósito se llegaba a los $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ y fue necesario introducir en la capa de aislamiento CO_2 y posteriormente polvo de silicio.

Este conjunto experimental fue muy importante para conocer la tecnología de la licuación y el almacenamiento del gas natural licuado, pues poco tiempo después se construían en L'Havre los primeros depósitos para recibir el gas natural licuado de Argelia, en total 3 depósitos con una capacidad de 12.000 m^3 de GNL cada uno.

Estaban constituidos por una cuba interna de acero al 9% de níquel, un espacio de aislamiento de casi 1 metro de espesor con fibra de vidrio en la parte inferior y perlita en las paredes laterales y el techo, una cuba externa de acero daba consistencia al conjunto. Las tuberías de entrada y salida del GNL, también construidas de acero al 9% de níquel estaban recubiertas con espuma de poliuretano.

Estos depósitos de acero de l'Havre, junto con los de Canvey-Island, que eran bastante similares, fueron los primeros de Europa que se construyeron para poder facilitar el transporte de GNL en buques.

Sin embargo el alto coste del conjunto estimuló la posibilidad de utilizar el hormigón armado y pretensado como depósito contenedor de gas natural licuado, sabiendo que el hormigón a la temperatura de $-161\text{ }^{\circ}\text{C}$ se vuelve poroso. Bajo esta premisa, el primer depósito de hormigón se construyó en Nantes en 1965, tenía un diámetro exterior de 15,74 m con una sección poligonal de 38 caras y una altura de 16,5 m. Podía contener 2.000 m^3 de GNL y el aislamiento estaba formado por resinas expandidas, similar a los que se utilizaban en la construcción de buques, con un espesor de 40 cm se colocó en la parte interior del hormigón. El resultado fue bueno.

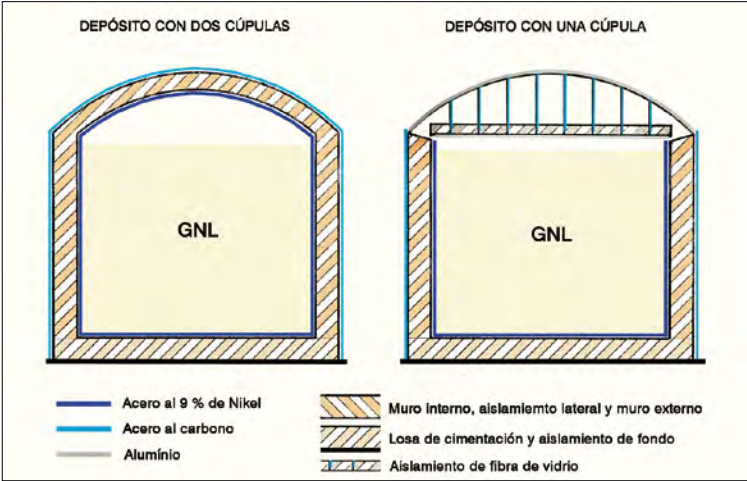
Los primeros depósitos de GNL tenían una estructura basada en dos cúpulas, una interior y otra exterior, entre las cuales se incorporaba el aislante. Esta forma constructiva ha sido modificada mediante la supresión de las dos cúpulas y la incorporación de un techo aislante suspendido de una estructura exterior, esta sí en forma de cúpula. El material interior, el que da hermeticidad al depósito sigue siendo la chapa de acero al 9% de níquel, excepto el techo que es de aluminio. En el aislamiento de los depósitos actuales se sigue utilizando la madera de balsa

para el fondo del depósito. En las paredes se utiliza la perlita y en el techo suspendido, la lana mineral o fibra de vidrio.

En los depósitos terrestres también se ha utilizado el tipo de construcción de depósitos auto-portante de acero al 9% de níquel, así como el sistema de membranas que se aplicaron en los buques. Por ejemplo, los dos depósitos de

Montoir de Bretagne, en Francia, de 120.000 m³ de capacidad cada uno, fueron construidos con el sistema de membrana y hormigón pretensado.

En el año 1970 con la primera planta de recepción de gas licuado y de regasificación de España en funcionamiento, había instaladas en todo el mundo solo cuatro plantas más de características similares.



Formas constructivas de los depósitos de gas natural licuado, el depósito con dos cúpulas utilizado antiguamente y el depósito con techo plano utilizado actualmente (Valdés, 1983: 20).

Cuadro 8.25. Plantas de recepción de GNL en el mundo en 1970

Planta de recepción	Puesta en servicio	Capacidad de recepción anual	Procedencia del gas natural
Canvey Island (Gran Bretaña)	1964	1.000.000.000 m ³	Arzew (Argelia)
Le Havre (Francia)	1965	500.000.000 m ³	Arzew (Argelia)
Negishi (Japon)	1969	1.600.000.000 m ³	Kenai (Alaska – USA)
Barcelona (España)	1970	1.100.000.000 m ³	Marsa el-Brega (Libia)
La Spezia (Italia)	1970	2.400.000.000 m ³	Marsa el-Brega (Libia)

Fuente: Gaz d’Aujourd’hui, 1971, p.202.

En aquellos años en Canvey Island una parte importante del gas era usado para emitirlo como gas metanado o también mezclado en una baja proporción con gas ciudad para aumentar su poder calorífico, y otra parte distribuido directamente. En Barcelona y La Spezia el gas procedente de Libia llegaba sin tratar y primero era fraccionado y luego separados los componentes valiosos: etano, propano y butano, el gas resultante, principalmente metano, una parte era emitido a la red de gas natural y otra parte era usado para alimentar la plantas de reforming que producían gas ciudad (Shell, 1980: 12).

Actualmente, de aquellas cinco primeras plantas de regasificación construidas hasta 1970 solo subsisten la de Nguishu, Barcelona y La Spezia. La planta de Le Havre fue cerrada 1989 y la de Canvey Island en 1995 (Maisonnier, 1996: p.60).

El esquema de funcionamiento de las plantas de recepción y regasificación no ha variado desde que se instalaron las primeras. Siempre situadas al lado de los muelles de atraque de los buques metaneros, que llegan con los tanques llenos de gas natural licuado a $-161\text{ }^{\circ}\text{C}$ y con una parte del gas en su fase gaseosa por la evaporación que ha tenido durante el viaje.

La planta de recepción tiene cuatro partes fundamentales, que también son fases por las que pasa el gas: los brazos y plataforma de recepción y descarga, el depósito de GNL, el equipo de bombeo, y el equipo de vaporización. Además, un sistema de control regula la evaporación del gas en el depósito, la presión que ejerce este gas y todo el conjunto de medidas de temperatura, caudal y presión de los distintos equipos.

La plataforma de recepción normalmente tiene dos líneas, porque antes de la recepción de un buque, las tuberías de descarga deben estar preparadas a muy baja temperatura y ello se

consigue haciendo circular desde el depósito el GNL por una tubería y de retorno por la otra, de esta forma cuando se descarga el gas, la tubería se encuentra a baja temperatura y no existe tanta evaporación en estos conductos. La función más importante de los brazos de descarga es conectarse al buque automáticamente sin intervención manual y traspasar la carga del buque al depósito.

El depósito tiene diferente volumen según las necesidades del punto de recepción pero la experiencia ha mostrado que la presión interna no debe superar 200 mbar porque el coste de construcción con mayores presiones sería importante.

El sistema de bombeo es muy importante. En las primeras instalaciones, la bomba se encontraba fuera del depósito, pero desde los años ochenta se coloca una bomba principal y una bomba secundaria, la primera, de baja presión, se coloca normalmente sumergida dentro del depósito de gas natural licuado y la tubería sale usualmente por la parte inferior del depósito. La segunda, de alta presión, se encuentra fuera del depósito. Ambas son construidas con materiales criogénicos para poder operar con la temperatura que tiene el gas natural licuado.

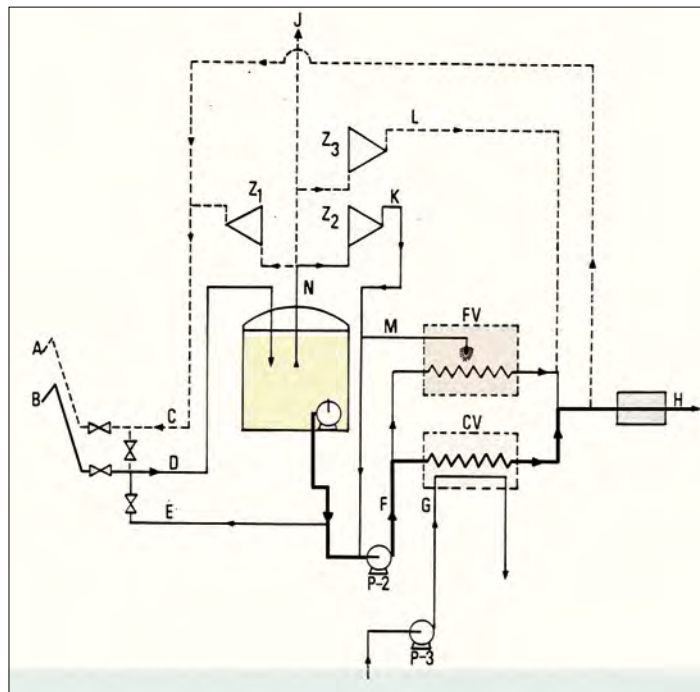
En lo que se refiere a vaporizadores, se utilizan vaporizadores de temperatura ambiente y vaporizadores de combustión sumergida que se utilizan para cubrir puntas de demanda o para suplir los primeros en caso de avería. En los primeros es el agua del mar la que aporta el calor para pasar el gas de la fase líquido a la fase gaseosa; el gas circula por unos tubos y el agua de mar por otros tubos en sentido contrario, este vaporizador requiere un gran tamaño para poder cambiar el gas a la temperatura deseada. En los segundos se dispone de una fuente de calor que combustiona sumergida en agua, como si fuera un baño de agua caliente. El calor se obtiene por combustión

del gas natural evaporado del depósito o por una fuente externa.

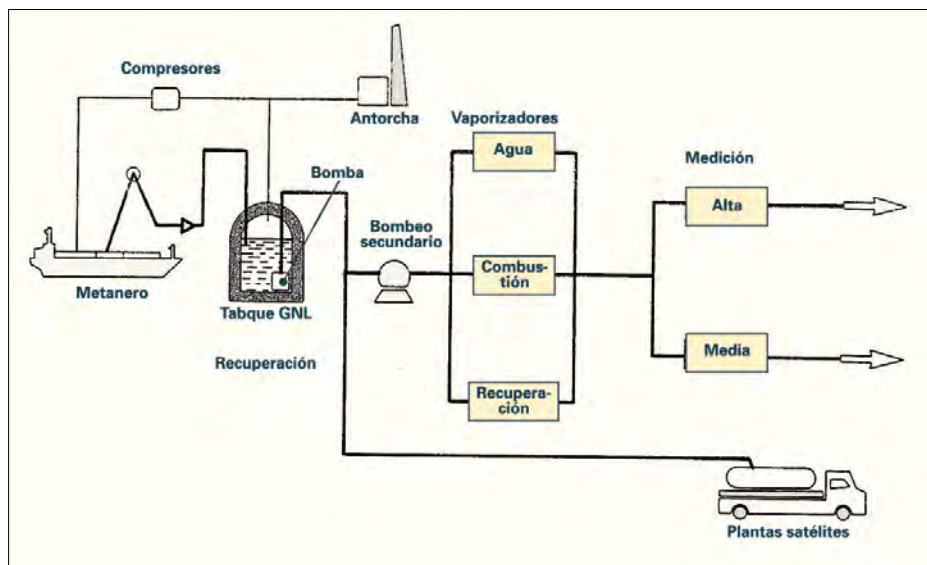
En el esquema que sigue se reproducen los elementos más característicos de funcionamiento de un terminal de estas características. En la descarga el GNL entra por B pasa por E y entra al depósito, mientras el gas desplazado sale por N pasa por el compresor Z1 circula por C y entra en los depósitos del buque por A. En la vaporización, el gas sale por la bomba principal que está en el interior, pasa por la bomba secundaria P2, sigue por el vaporizador calentado por agua de mar CV y sale a la red por H. Eventualmente puede pasar en lugar del vaporizador CV por el vaporizador FV recalentado con el propio gas que es impulsado por el compresor Z2 y pasa por K

y M. La evaporación del depósito en condiciones normales puede circular por el compresor de baja presión Z2 y se mezcla con el LNG que va a la emisión a través de la bomba P2. En el caso de una mayor evaporación producida por ejemplo, por una descarga desde un buque, se pasa entonces por el compresor Z3, a través de L el gas pasa a la emisión directamente. En los casos extremos pasa a la atmósfera a través de J. Existe una circulación que equilibra las temperaturas del depósito con la bomba principal a través de E y D

En el esquema no aparece un elemento que permite la recuperación de la energía contenida en la temperatura de -16°C del gas natural licuado, que se ha incorporado posteriormente en la operativa de los terminales LNG.



Esquema simplificado de un terminal de LNG (Shell, 1980, 17).

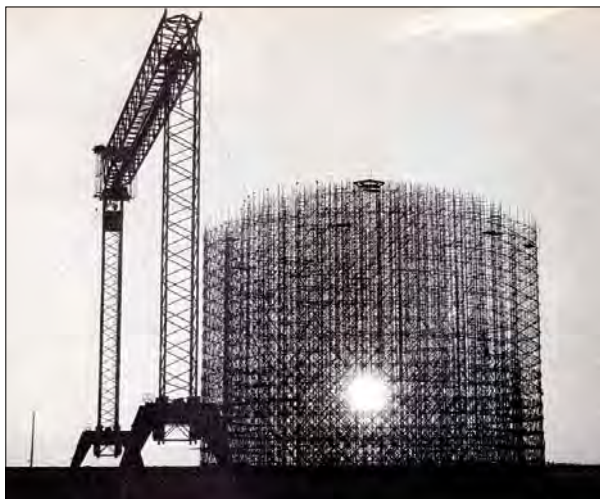


Esquema de una planta de gas natural licuado (Rodríguez y Núñez, 1987: 22).

8.6.1. Plantas de gas natural licuado españolas

La primera planta de recepción de gas natural en España fue instalada en Barcelona por el grupo *Catalana de Gas y Electricidad*, su construcción se inició en 1965 y se ponía en servicio en 1969. Era la tercera planta de recepción de gas natural de Europa después de Canvey Island y de l'Havre.

La zona principal consistía en dos depósitos de 45 metros de diámetro con una capacidad de 40.000 m³ cada uno. Tienen doble pared, la interior de hormigón pretensado y la exterior de acero al carbono. Entre ambas un espacio de 75 cm con perlita. El fondo es una chapa de acero al 9% de níquel. La parte superior es un casquete esférico en los dos depósitos con capa de aislamiento de perlita. El equipo de bombeo primario extraía el GNL de los depósitos a una presión de 10 kg/cm²



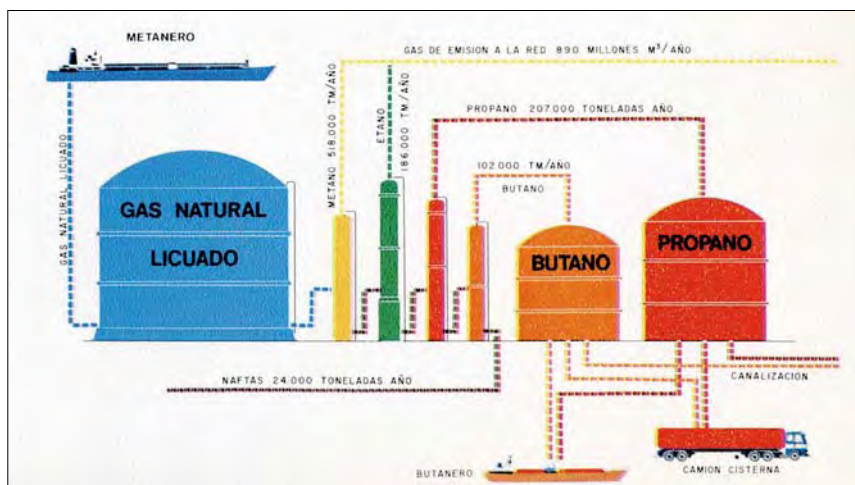
La estructura de refuerzo interior en fase de construcción del depósito de GNL de Barcelona (Gas Natural S.A.).

y el equipo de bombeo secundario impulsaba el GNL a 50 kg/cm² hacia las tres líneas de regasificación y fraccionamiento del gas natural licuado permitían separar el metano, el etano, el propano, el butano y la nafta. La regasificación se efectuaba mediante la combustión de una pequeña parte del gas evaporado en combustión bajo agua. Las dos líneas de fraccionamiento de gas natural licuado tenían una capacidad de 100.000 m³/h. Esta instalación de fraccionamiento del GNL era la primera que se ponía en marcha en Europa. En la planta había dos depósitos refrigerados de gas propano y butano, ambos licuados y a temperatura de -30 °C.

La planta disponía de una zona de atraque de buques metaneros y también para los buques butaneros que cargaban los gases butano y propano obtenidos en el proceso de fraccionamiento de la planta. La planta constaba de dos unidades de regasificación con cuatro columnas cada una para la separación del metano, etano, propano y butano, quedando al final el resto del producto constituido por naftas.



Torres de fraccionamiento del GNL para obtener propano y butano, 1969 (Gas Natural S.A.).



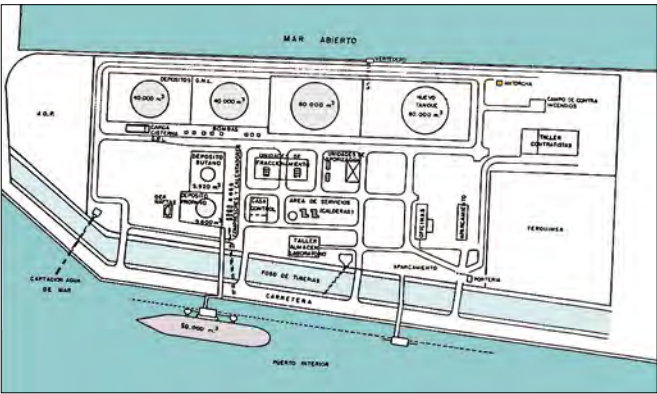
Planta de gas natural licuado de Barcelona. Procesos de separación y emisión (Gas Natural S.A.).

La tecnología de la primera planta española fue principalmente americana al igual que la construida en la planta de licuación de Libia. Durante unos meses la planta estuvo terminada a la espera del gas de Libia, y mientras se efectuaron operaciones previas de puesta en marcha, el enfriamiento de los depósitos y su mantenimiento a la temperatura de -161 °C con dos cargamentos de gas, uno de Argelia y otro de Alaska. En marzo de 1971 llegaba el primer cargamento de Libia y se ponía en marcha de forma regular.



El buque metanero “Aristotle” atracado en la terminal de Barcelona, efectuando, el 19 de febrero de 1969, la primera carga de GNL procedente de Arzew (Argelia) (*Noticiario Informativo*, Gas Natural S.A., abril 1969).

En 1972 se inicia la construcción de un nuevo depósito de GNL de características diferentes a los existentes, la tecnología impone que las paredes interiores sean de acero al 9% de níquel y las exteriores de acero al carbono. El aislamiento entre las dos capas de hormigón pretensado contiene 1,1 m de espesor en perlita y en la parte superior un techo de fibra de vidrio de 80 cm de espesor suspendido de una cúpula de aluminio. Ha sido diseñado para una evaporación de gas licuado diaria de 0,05 % (De la Reguera y otros, 1974: 363).



Terminal de GNL de Barcelona en el año 1979 (SEDIGAS).

Cuadro 8.26. La planta de recepción de GNL de Barcelona en 1972

	Gas procedente de Libia	Gas natural emitido
Metano	66,2 %	85,4 %
Etano	19,8 %	13,6 %
Propano	10,6 %	0,4 %
n-Butano y Iso-Butano	2,3 %	0,1 %
Resto de componentes	1,1 %	0,5 %

Fuente: SEDIGAS, mayo 1979.

También separaba el etano y se enviaba a una planta vecina donde se transformaba en etileno, un producto base para la formación de materiales plásticos como el cloruro de polivinilo, el polietileno, el poliéster, el poliestireno y muchos otros.

El gas era emitido a través de un gasoducto a la presión de 35 kg/cm² (34,3 bar) en el cinturón urbano de Barcelona.

La planta de gas de Barcelona dejó de efectuar la operación de fraccionamiento del propano y butano cuando el gas de Libia empezó a ser

tratado en origen. Años antes había empezado a llegar gas argelino, de diferente composición y ya tratado en origen, en este caso se limitaba a almacenarlo en depósitos independientes del gas Libio y emitirlo mediante un gasoducto a la presión de 72 kg/cm² (70,6 bar) hacia la red general española.

En el año 1990 las plantas españolas de recepción de gas natural licuado eran tres, la de Barcelona, que seguía recibiendo gas de Libia y de Argelia indistintamente y las dos nuevas de Huelva y Cartagena que recibían gas solamente de Argelia.

Cuando empezó el proyecto de las dos últimas plantas, la norma de construcción de plantas de GNL había cambiado. Una parte importante estaba en la seguridad de las instalaciones y en especial de los tanques de almacenamiento de gas, además todos los servicios de las plantas estaban duplicados y podían funcionar durante 365 días al año. Las instalaciones de descarga se proyectaban para metaneros de hasta 40.000 m³ en 10 horas con un caudal máximo de 4.300 m³/h

En lo que se refiere a la construcción del depósito de Huelva, el material de fondo y

Cuadro 8.27. El gas procedente de Argelia

Metano	91,08 %
Etano	6,65 %
Propano	0,65 %
n-Butano y Iso-Butano	0,08 %
Nitrógeno	1,54 %

Fuente: ENAGAS

Cuadro 8.28. Las plantas españolas de recepción de GNL en 1990

	Puesta en servicio	Capacidad de atraque de buques metaneros	Capacidad de almacenamiento de GNL	Capacidad de emisión a la red de gasoductos
Barcelona	1970	90.000 m ³	2 x 40.000 m ³ 2 x 80.000 m ³	1.125.000 m ³ /h a 72 bar 525.000 m ³ /h a 45 bar
Huelva	1988	130.000 m ³	1 x 60.000 m ³ 1 x 100.000 m ³	390.000 m ³ /h a 72 bar 60.000 m ³ /h a 16 bar
Cartagena	1989	40.000 m ³	1 x 55.000 m ³	150.000 m ³ /h a 72 bar

Fuente: (Ingeniería Química, marzo 2001) y elaboración propia.

de pared del depósito interior se utilizó acero criogénico al 9% de níquel y para el depósito exterior hormigón. El aislamiento de perlita en la parte exterior con 100 cm de espesor y entre el depósito interior y la perlita se colocó una manta resiliente de lana mineral de 25 cm de espesor. La tapa superior consistió en un techo suspendido por tirantes de la cúpula de acero exterior y aislado por la parte superior con 70 cm de fibra de vidrio. El gas evaporado se sitúa en dos espacios, uno entre la cúpula exterior y

el techo, y otro entre el techo y la parte interna del depósito ambos conectados por conductos que permiten un equilibrio de presiones. Todas las entradas y salidas de gas, del circuito de nitrógeno y la instrumentación se efectúan por la cúpula. Se han evitado las conexiones de fondo de depósito para mayor seguridad. El depósito se diseñó para una presión prácticamente igual a la atmosférica (entre +290 mbar y -10 mbar, relativos a la presión atmosférica) (Rodríguez, 1987:7).

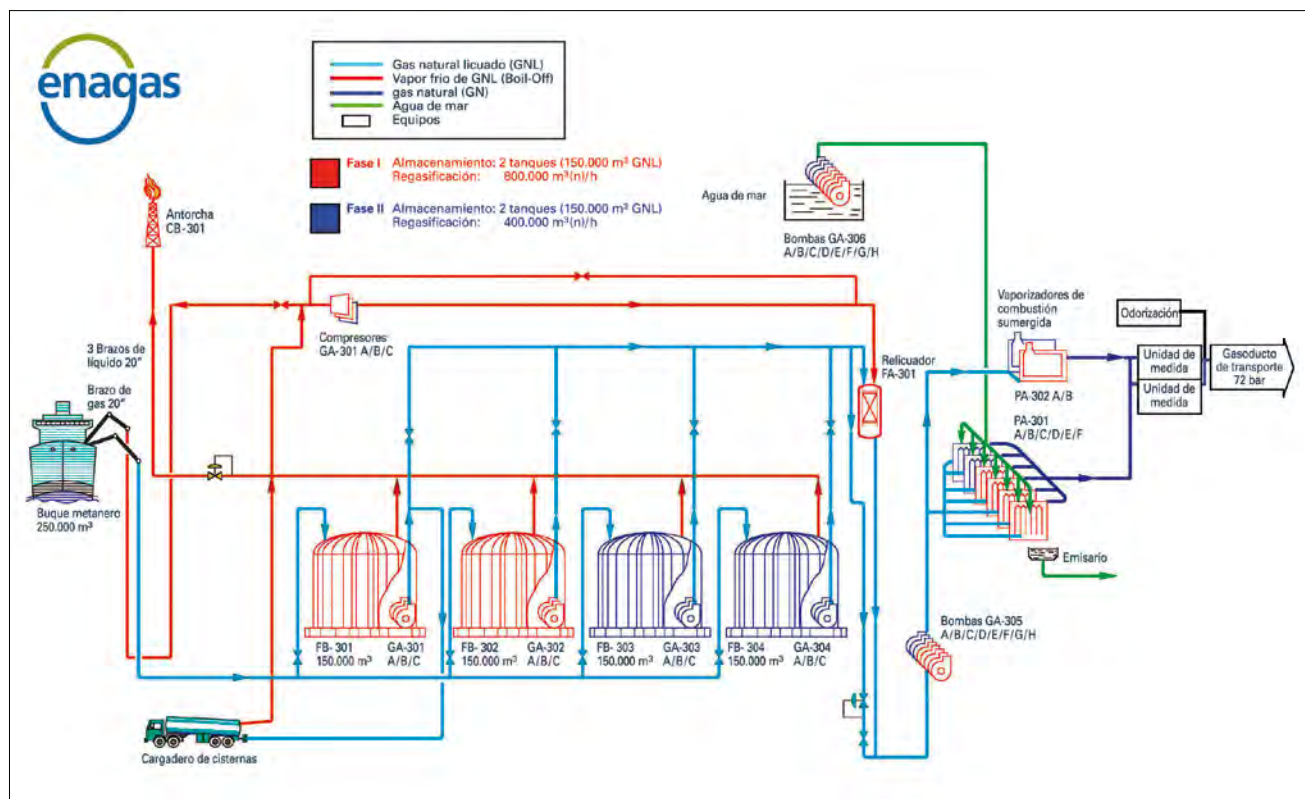


Diagrama de flujo, Planta de regasificación de El Musel (Gijón) (ENAGAS).

Actualmente en España existen 6 plantas de recepción y almacenamiento de gas natural licuado. La más moderna es la situada en Mugardos, La Coruña, inició su explotación en noviembre de 2007 y su capacidad de almacenamiento es de dos depósitos de 150.000 m³ de GNL y una capacidad de emisión a la red de gasoductos de 415.000 m³/h.

8.7. Almacenamiento del gas natural

El gas natural se extrae de los yacimientos con independencia de la demanda del mercado. Sin embargo, como el consumo de gas presenta alternancias, con períodos de poca demanda, períodos de gran demanda, y puntas de consumo importantes, ello ha originado que se buscaran soluciones para tener gas natural disponible para poder suministrarlo en todas las condiciones posibles. Para asegurar un equilibrio entre la demanda de gas y la emisión de gas se han utilizado los depósitos de reserva, donde llega el gas de la planta de recepción y sale gas hacia el consumo. Con las fábricas de gas manufacturado esto se solucionaba con los gasómetros, y con el gas natural estos son almacenes situados en la red de transporte en los que el gas natural se guarda en grandes depósitos, o se somete al proceso de licuación, que contrae el volumen unas 600 veces y se coloca en depósitos de menor dimensión. Cuando se necesita, el gas natural se emite a la red directamente si ya está en estado gaseoso o primero se vuelve a gasificar.

El sistema de almacenamiento de gas natural es múltiple, existen almacenes en las plantas de yacimiento, en las plantas de licuefacción del gas natural, en las plantas de recepción del GNL, y almacenes insertados en la red de transporte.

Cuando la planta se encuentra insertada en la red de transporte y contiene un sistema de licuación, un depósito de GNL y la regasificación correspondiente, se conocen como plantas “peak-shaving”, es decir, que recortan las puntas de consumo a la planta principal de recepción, o al propio yacimiento, si es que este está cerca del consumo, y se vacían –o llenan– en función de la relación entre la demanda de gas y la emisión de gas. El uso de este tipo de plantas empezó, como tantas cosas en gas natural, en Estados Unidos a finales de los años sesenta. En definitiva, lo que hacen estas plantas es almacenar gas en forma líquida cuando la demanda es menor que la producción y el precio de compra es bajo, y gasificarlo cuando la demanda es mayor que la producción y el precio de venta es alto. Los márgenes de beneficio han de ser lo suficientes como para rentabilizar las inversiones efectuadas.

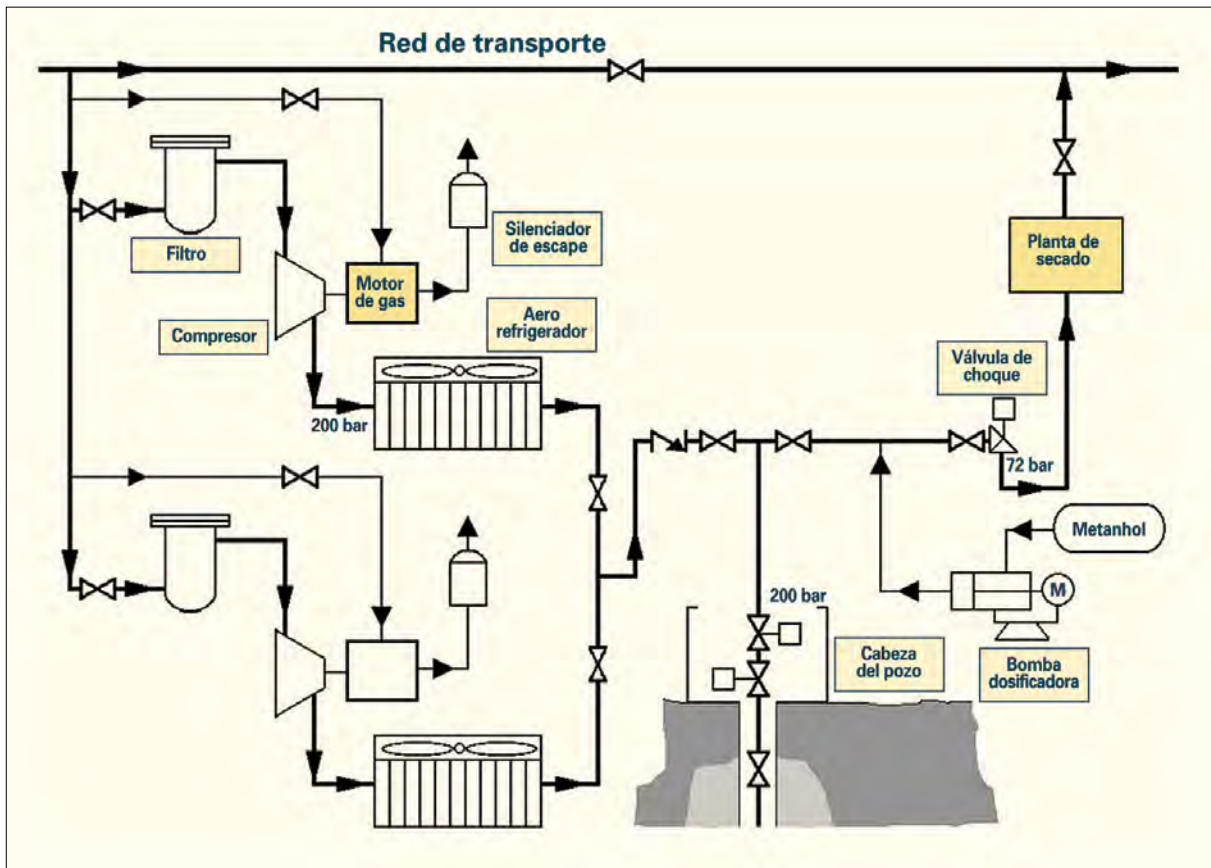
El número de plantas de “peak shaving” en EEUU en 1997 debía ser del orden de las 40 ó 50 unidades y en este mismo año en Europa había 5 en el Reino Unido, 2 en Alemania y una en Bélgica y en Holanda.

Asimismo la extracción de gas natural y su acopio para momentos de más demanda, ha originado que se necesiten almacenes de gas para su posterior emisión, que deben tener volúmenes importantes que no son posibles con los gasómetros a presión, que no superarían los 200.000 m³. Las plantas de gas natural licuado ya tienen sus propios depósitos de almacenamiento del gas como reserva. Pero con la tarea de emitir gas en la red de transporte se empezó a considerar la posibilidad de almacenar mayores cantidades de gas. Los depósitos metálicos o de hormigón podían cumplir este papel pero sus dimensiones eran pequeñas en comparación

con las posibilidades que ofrecía la naturaleza, por ejemplo utilizando yacimientos de gas agotados. Esta idea se fue desarrollando y ha fomentado el estudio y utilización de almacenes de gas en el subsuelo, en depósitos naturales que permiten almacenar grandes cantidades suficientes de gas, manteniendo el gas en condiciones ambientales adecuadas y sin grandes infraestructuras.

El almacenaje subterráneo que se ha utilizado

como primera opción han sido los depósitos agotados de gas. En estos normalmente se conoce su estructura geológica y ya se ha extraído todo el gas natural recuperable. La ventaja es que ya se conoce que son capaces de mantener el gas natural a una determinada presión. Lo más importante en la decisión de utilizar este tipo de almacenamiento son los factores que deben determinar cuándo un depósito está agotado y qué posibilidades tendrá de utilizarse como almacenaje.

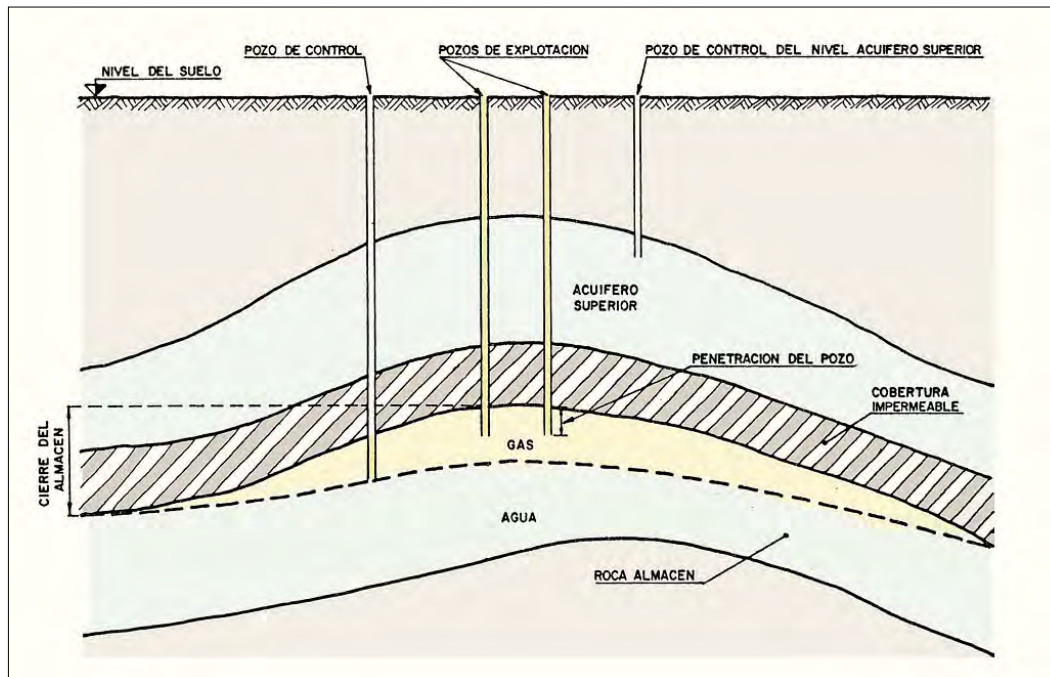


Esquema de los equipos de un almacenamiento de gas natural (SEDIGAS).

La geología nos indica que los yacimientos de gas no son solo cavidades huecas, sino que son rocas en las que el gas se encuentra dentro de sus poros. Por tanto para aprovechar yacimientos se debe conocer si la roca base posee gran porosidad para que el gas se pueda situar en su interior. También es condición importante que estén situados cerca de puntos de gran consumo o de gasoductos.

Además de los yacimientos agotados, existen otras posibilidades de utilizar almacenamientos subterráneos. En primer lugar las estructuras acuíferas anticlinales, también se utilizan cavidades salinas y finalmente se pueden almacenar en minas abandonadas.

En el caso de los yacimientos agotados, debe considerarse que el volumen de gas implicado en los almacenamientos subterráneos tiene tres categorías; por una parte está el gas nativo, es decir, el que se encuentra en las capas rocosas y que aún no se ha extraído cuando se decide transformar el yacimiento en depósito. Luego está el gas colchón, es decir, el gas que es necesario inyectar en el yacimiento para que junto con el gas nativo ejerza la presión suficiente para ejercer la impulsión del gas eficazmente. Y por último está el gas disponible, que estará supeditado a las entradas y salidas del mismo según la producción o la demanda y que su extracción se sustentará mediante los otros dos gases



Esquema de un almacenamiento de gas en acuífero (Velasco, 1980: 19).

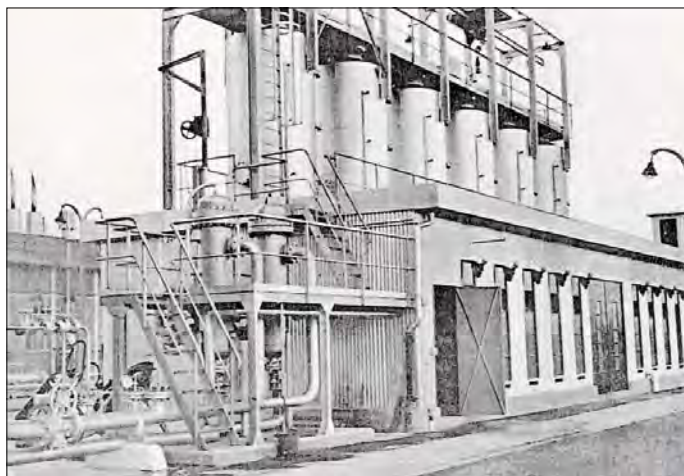
anteriores. El gas nativo y el gas colchón, que aproximadamente pueden ocupar alrededor de un 40 % del volumen total del almacenamiento subterráneo, estarán permanentemente en el mismo hasta que se decida cerrar el almacén, solo entonces será posible su extracción.

Los acuíferos son otros de los tipos de depósitos utilizados como almacén de gas natural. Deben ser formaciones de roca porosa y permeable que actúen como depósitos naturales, y ante todo con una cobertura impermeable que garantice la retención del gas. Para el uso de este tipo de depósitos lo más importante es conocer las características geológicas de la formación acuífera, y determinar la posibilidad de almacenaje, tanto para determinar la porosidad de la formación, la impermeabilidad de la capa superior, como para poder determinar la capacidad del depósito. Para utilizar el acuífero debe primero desplazarse el agua del mismo, de los poros de la roca y dejarlo libre para poder contener el gas que se ha de colocar de forma que no pueda escaparse por los flancos que siempre tiene un acuífero.

El primer almacenamiento subterráneo de gas natural en el mundo fue realizado en el año 1913 en Welland Country, en la provincia de Ontario, en Canadá. El yacimiento se había descubierto en 1889 y se aprovechó cuando ya estaba agotado. En Estados Unidos se equipó el primer yacimiento subterráneo de gas natural utilizando un acuífero. Pero ya desde 1916 se utilizaba un yacimiento agotado en Zoar, cerca de Buffalo en el Estado de Nueva York. En el año 1930 había en funcionamiento seis depósitos subterráneos.

La técnica del almacenamiento del gas en estructuras acuíferas también ha sido utilizada en Francia desde el año 1956, cuando se puso en

marcha el acuífero de Beynes, en Yvelines, cerca de París, que almacenaba gas manufacturado de la red general. Tenía una profundidad de más de 400 metros y una capacidad de gas contada energéticamente de 700 GWh, equivalentes a 210 millones de m³ de gas. *Gaz de France*, lo experimentó utilizando gas manufacturado, pero siguió con el mismo sistema para el gas natural desde el año 1965 con el acuífero de Saint-Illiers-la-Ville, también en Yvelines, con otro almacén capaz de acumular hasta 5.500 GWh, equivalentes a 1.244 millones de m³ de gas natural, con una profundidad mínima de 470 metros (*Gaz d'Aujourd'hui*, 1971, p.206) (ATG, 1990 : 476).



Vista de las instalaciones del almacén subterráneo de Beynes (*Gaz d'Aujourd'hui*, 1958: pl. XLVII).

Otro almacenamiento situado en antiguos yacimientos de gas es el de South Bend (Indiana, USA) descubierto en 1922 y que fue convertido en almacén en 1951. El yacimiento contiene 61 pozos de inyección-extracción y 4 pozos de inspección, tiene una capacidad de 491 MMm³

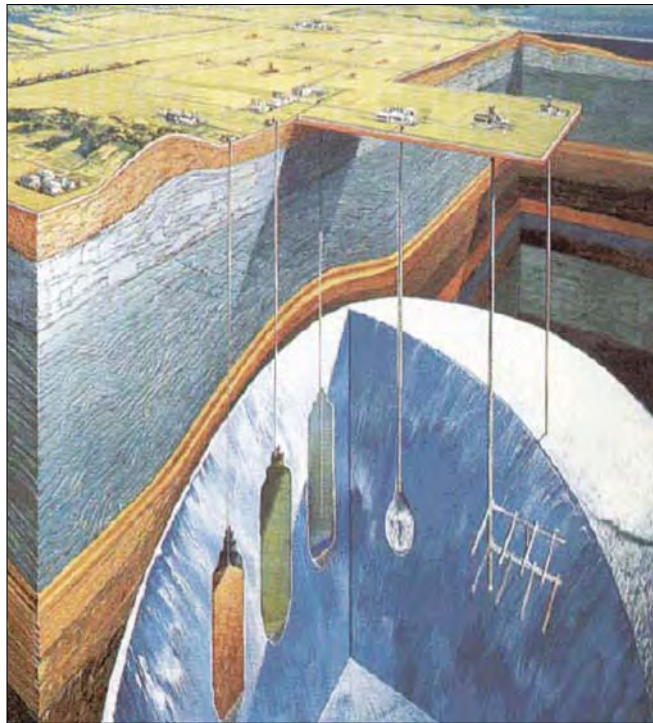
de los que un 33,5 % está disponible para la extracción.

Las cavidades salinas ofrecen otra opción para el almacenaje de gas natural. Las rocas salinas son depósitos de sal subterráneos que pueden tener dos formas distintas: los domos de sal y las capas de sal. Los domos son grandes depósitos de sal que se han cubierto de capas sedimentarias, en ellos la sal tiene la propiedad de tener unas paredes de gran resistencia y también capacidad para sellar las fracturas que se puedan presentar en su estructura compacta, además es impermeable con los hidrocarburos, tanto líquidos como gaseosos. Los lechos, en

cambio, son constituidos por capas más finas de sal y son más débiles en lo que se refiere a la resistencia de las paredes excavadas en ellas.

El almacenamiento en cavidades salinas se empezó a utilizar en 1950 en Estados Unidos, en Keystone (Texas), donde se almacenaron líquidos de gas natural por el método de disolución local en una cavidad salina, y en 1961 se utilizó una cavidad salina de Marysville (Michigan) para almacenar gas natural.

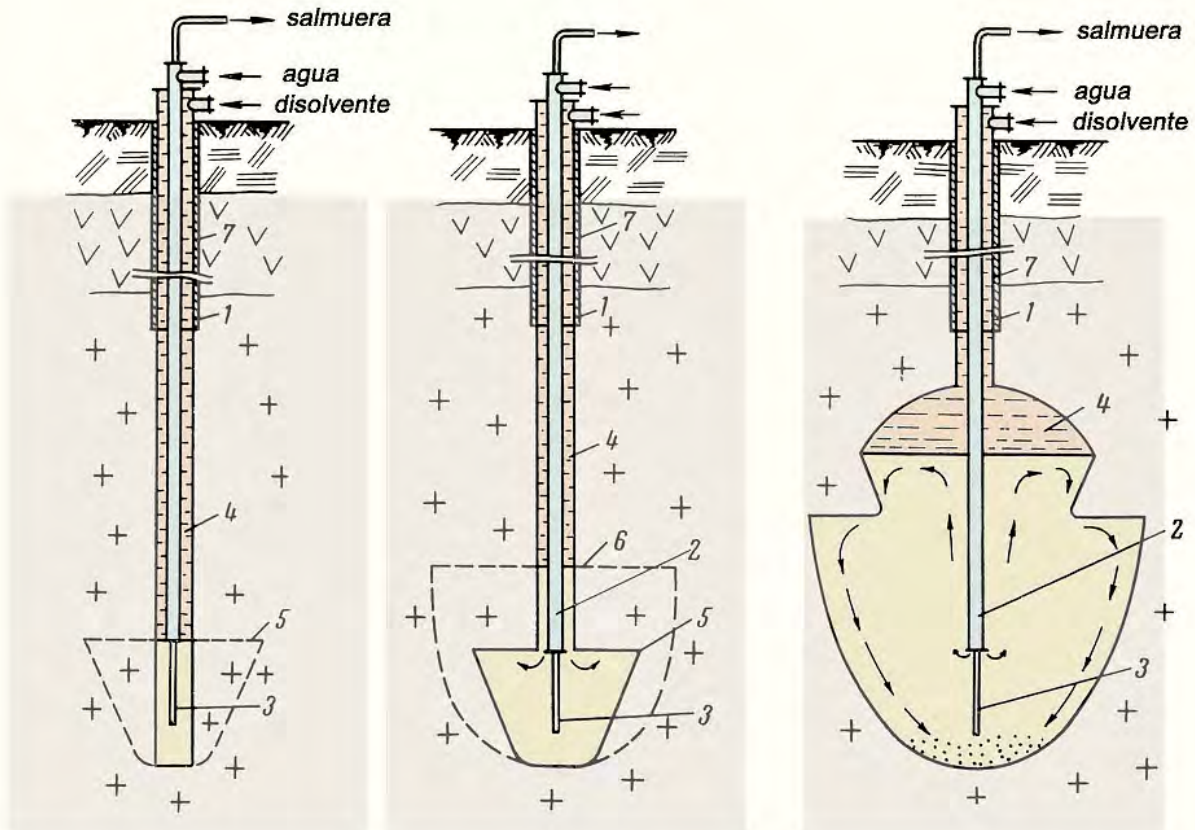
Lo más importante en la cavidad es la estabilidad de las paredes y principalmente del techo de la misma. Para obtener una cavidad en un domo de



Domo de sal para un almacenamiento de gas natural (SEDIGAS).

sal es necesario disolver la sal mediante agua, por ello el sistema más utilizado es el de inyectar agua en sentido inverso, es decir, la inyección se efectúa por la parte inferior de la sonda y la salmuera se recoge por la parte superior, este procedimiento es más lento que si se inyectara agua por arriba

y se recogiera por abajo pero permite una mejor formación de la cavidad. No obstante la duración del trabajo en la formación debe ser corta para obtener una pared estable. Las paredes de la perforación hasta la cavidad salina son revestidas para evitar pérdidas de gas.



1 Tubo guía y de sellado 2 Tubo de inyección de agua 3 Tubo de extracción de salmuera 4 Disolvente
5 Cámara inicial 6 Cámara que se forma con la lixiviación 7 Pozo recubierto de hormigón

Esquema de formación de depósitos subterráneos en rocas salinas con inyección por abajo.
(Zakoutsky, Ivantsov & Mazourov, 1967: 1).

Actualmente uno de los almacenamientos más grandes del mundo es el de Nuettermoor, en Alemania. Sus cavernas tienen hasta 400 m de alto y 75 m de ancho y pueden almacenar todas juntas hasta 1.300 millones de m³ de gas de los que un 80% es gas utilizable. La presión de trabajo mínima es de 30 bares y la máxima de 150 bares.

Las magnitudes que definen un almacén son: la capacidad de almacenamiento, la capacidad de inyección, y la capacidad de emisión.

Lo más importante en el almacenamiento subterráneo ha sido el conocer de forma muy bien definida la estructura del terreno y de la cavidad. Los métodos geofísicos y la prospección sísmica han sido la base para el conocimiento de las características del lugar que debe poderse utilizar. Por supuesto lo más importante es asegurarse de la estanqueidad del almacén natural.

En el caso de yacimientos agotados, la reintroducción del gas es más inmediata que en otros sistemas, pero se debe de efectuar previamente la expulsión del agua que ha servido para poder hacer salir todo el gas del yacimiento, si es que no se ha parado su extracción antes para prepararlo para el gas natural. En las minas abandonadas su conocimiento exhaustivo permite conocer muy detalladamente sus posibilidades de utilización. En el caso de los acuíferos el proceso consiste en desplazar el agua que contiene el mismo por el gas que se desea almacenar. Mediante la presión del gas se consigue que el agua se vaya desplazando, en cada caso la velocidad de relleno de gas y vaciado del agua dependen de una serie de variables no todas conocidas.

A finales del año 1972, Italia tenía 4 almacenes subterráneos, el más importante de los cuales estaba en Brugherio, en Lombardía, ocupaba

un yacimiento agotado y contaba con una capacidad final de 1.200 millones de m³. Francia tenía 6 almacenes subterráneos, el más importante estaba en Chémery, en la región centro, utilizaba una capa acuífera y contaba con 1.100 millones de m³ y Alemania tenía 8 almacenes subterráneos, el más importante de los cuales era el de Wolfersberg, en Baviera, con una capacidad final de 436 millones de m³ (Institut Français du Pétrole, 1975: 27).

8.7.1. Almacenamientos subterráneos españoles

En España se empezó en 1975 a estudiar los posibles puntos de almacenamiento de gas natural. Sin casi yacimientos, los más característicos eran las estructuras de acuíferos y las cavidades salinas. Fueron estudiados diversos puntos en el valle del Ebro, como: Cegama, Chiprana y La Zaida situados en la provincia de Zaragoza o Iglesias en la provincia de Burgos.

Pese a estos estudios, el primer yacimiento subterráneo en funcionamiento en España fue el del campo de gas de Serrablo, formado por dos yacimientos de gas agotados, Jaca y Aurín, situados a una profundidad de 2.740 m y 1.700 metros respectivamente y constituidos por formaciones de carbonatos fracturadas. Los estudios estimaron que el volumen máximo de gas almacenable en Serrablo era de 1.060 millones de m³ pero que aún había reservas en el yacimiento, del orden del 33% y que el volumen del gas almacenable que se podía extraer era de 400 millones de m³, es decir, el gas de colchón que debía permanecer en el yacimiento era de 660 millones de m³ (Carmona y Velasco, 1990: 175).

Cuadro 8.29. Almacén subterráneo de Serrablo

	Gas colchón	Gas operativo	Capacidad de emisión
Jaca	285.000.000 m ³	520.000.000 m ³	4.300.000 m ³ /día
Aurín	135.000.000 m ³	160.000.000 m ³	2.500.000 m ³ /día

Fuente: ENAGAS, 2008.

El campo de almacenamiento Gaviota, unión de los yacimientos concedidos llamados Gaviota I y Gaviota II que dejaron de producir en 1994,

también se utiliza como almacenamiento. Su estanqueidad y su situación lo convierten en un almacenamiento seguro.

Cuadro 8.30. Almacén subterráneo Gaviota

	Capacidad útil operativa	Capacidad de emisión
Gaviota	979.000.000 m ³	5.700.000 m ³ /día

Fuente: ENAGAS, 2008.



Planta de almacenamiento de Serrablo (Gas Natural SDG, S.A.).

8.8. Gasoductos de transporte del gas natural

Desde los yacimientos y las plantas de tratamiento del gas, las tuberías transportan el gas hacia diferentes puntos de destino con cientos de kilómetros de longitud. Además nos encontraremos intercalados a lo largo de la tubería, sistemas de válvulas que permiten cerrar el gasoducto por tramos. El diámetro de la tubería habrá sido escogido en función de los caudales que se deben transportar y cuando la longitud sea larga, unas estaciones de compresión volverán a elevar la presión del gas y la situarán igual que la presión con que el gas iniciaba su recorrido, para así

compensar la pérdida de presión que tiene durante su trayecto por la tubería.

Como ya hemos indicado al principio, el primer gasoducto que utilizaba alta presión data del año 1880, cuando se distribuía en distintos estados como Nueva York, Pennsylvania y Ohio. En el año 1891 un gasoducto de 193 km iba desde los yacimientos del norte del estado de Indiana hasta Chicago. Pero el primer gran gasoducto del siglo XX será el de Panhandle-Hougoton hasta Chicago, un gasoducto de 1.600 km de longitud y 24" (600 mm) de diámetro hasta Chicago, puesto en servicio en el año 1929. En 1944 otro gasoducto de 2.000 km unía el yacimiento de Corpus Christi, en Texas con



Gasoducto entre Texas y Nueva York de la *Transcontinental Gas Pipe Co.* Puesto en servicio en 1951 con 3.975 km y tubería de acero de 30" (760 mm) de diámetro a 60 kg/cm² de presión. En el trayecto necesitaba 24 estaciones de compresión para mantener la presión. (*Gaz d'Aujourd'hui*, 1970: 175) (SEDIGAS, 2005:22).

la ciudad de Charleston, en Virginia Oeste. Para Europa, los primeros gasoductos importantes estarán en Rusia. En el año 1947 Rusia inaugurará la exportación de gas hasta sus países satélites: Polonia y Checoslovaquia, será el primer gasoducto internacional europeo.

Estos años cincuenta, aunque los descubrimientos de gas natural en Rusia habían impulsado la construcción de gasoductos en aquel país, la red de transporte más importante seguiría siendo la de los Estados Unidos. Esta utilizaba la presión de 60 kg/cm² y unas dimensiones de tubería que llegaban hasta los 90 cm de diámetro, con tuberías con o sin soldadura, revestidas exteriormente con una capa de asfalto mediante refuerzo de banda de fibra de vidrio y el conjunto envuelto en papel Krafft. Para el transporte a tan larga distancia, era necesario mantener la presión de emisión hasta el punto final del gasoducto y por tanto se necesitaban obligatoriamente estaciones de compresión a lo largo del mismo. En los inicios del transporte, estas estaciones se colocaban a una distancia de 200 millas (320 km) entre sí, pero en los años cincuenta esta distancia se había situado en 100 millas (160 km) a causa de la mayor demanda y por tanto de una pérdida de presión mayor por unidad de longitud que se había de remontar.

En Europa, uno de los primeros proyectos de desarrollo del gas natural se estudió a finales de la década de los años cincuenta. Se trataba del proyecto de conducción de gas natural desde el Sahara Argelino hacia Europa, que se conoció con el nombre de EURAFRIGAS. Habían sido descubiertos los yacimientos de Argelia y era una oportunidad para el abastecimiento energético francés la

utilización del gas argelino. En su primera fase se especificaron dos itinerarios posibles que requerían atravesar el Mediterráneo: uno en las proximidades de Gibraltar entre la costa de Marruecos y la de España, con una longitud de unas decenas de km y con una profundidad de 450 metros como máximo; otro entre Mostaganem (Argelia) y Cartagena (España) con una longitud de unos 180 km y una profundidad que podía llegar a los 2.700 metros. Ambos trayectos fueron estudiados con mucha precisión, dedicando muchos esfuerzos en conocer la naturaleza de los fondos marinos y las corrientes marinas según la profundidad, sin embargo con el avance del proyecto se le fueron añadiendo nuevos trazados, por ejemplo entre Argelia y Sicilia.

Sin embargo, al mismo tiempo que se estaba con el proyecto citado, también se efectuaban una serie de experiencias de transporte por buque metanero, con el “Metane Pionnier” que transportaba el gas natural líquido a -160 °C entre Louisiana (Estados Unidos) y el Reino Unido con resultados técnicos y económicos satisfactorios. El interés por el gasoducto mediterráneo quedó reducido cuando se empezó a desarrollar, en 1957, la red de transporte del yacimiento de Lacq en Francia, y quedó definitivamente aplazado en 1963 con el descubrimiento del yacimiento de Groningen.

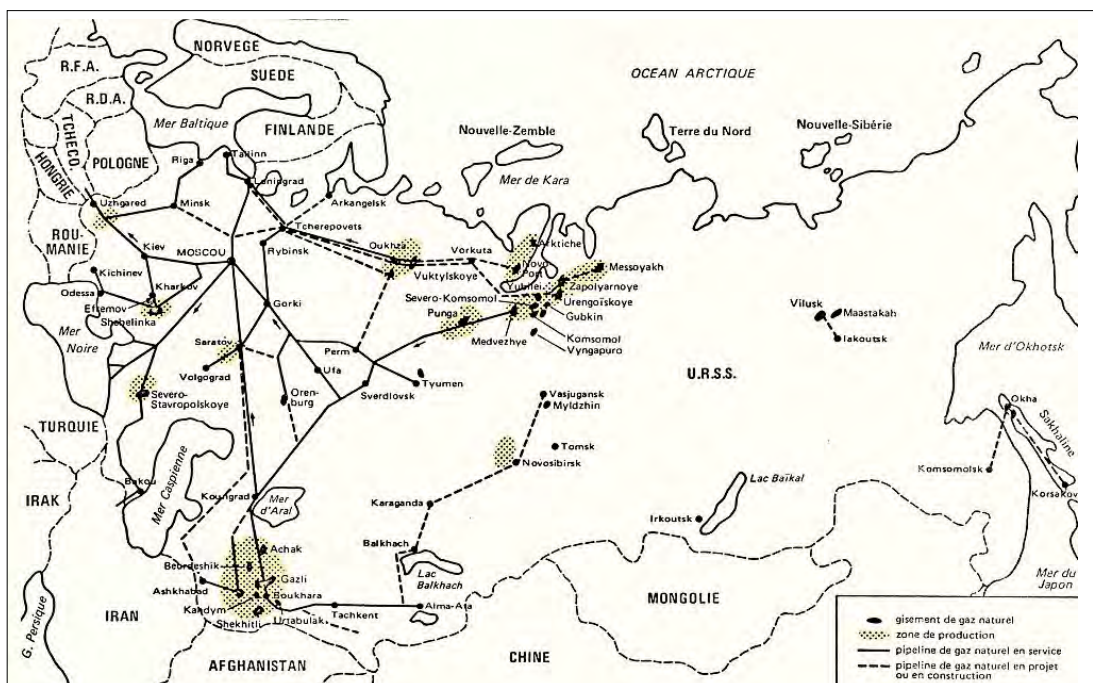
El primer gasoducto de Europa occidental se construyó en Francia, entre 1957 y 1959, para transportar el gas obtenido del yacimiento de Lacq hasta París, Nantes y Lyon. El gasoducto utilizó tubos de 600 mm de diámetro en su tramo principal y de 500 mm, 450 mm y 250 mm en sus tramos hasta París, Nantes y Lyon respectivamente.

8. Tecnología y desarrollo del gas natural

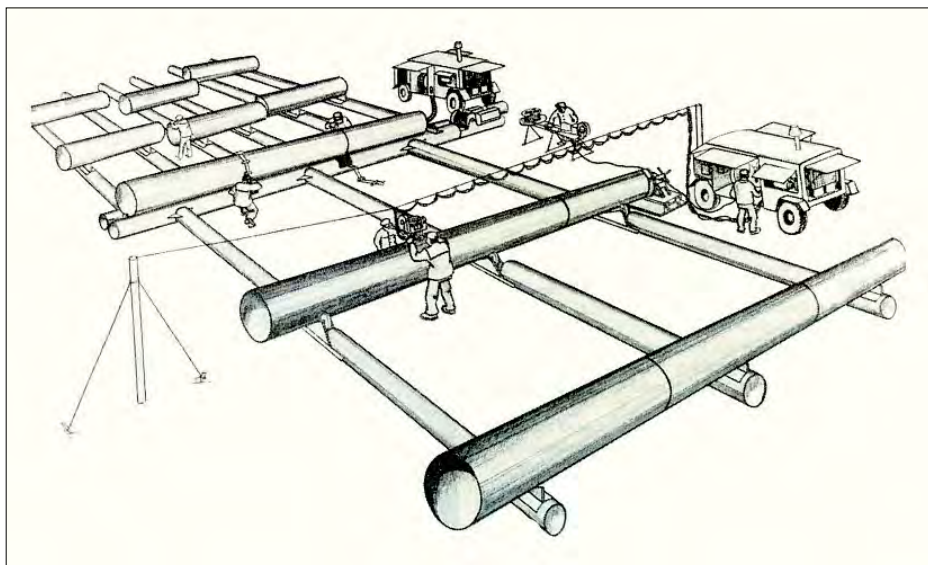


Fue un gasoducto importante, en su época, no obstante ha sido en Rusia donde se han realizado los mayores gasoductos del continente eurasiático. El gasoducto que va entre los yacimientos de Bukhara en Kazakhstan hacia los Urales y hacia Tashkent y Almat con una longitud de 4.500 km de longitud, parece ser el más antiguo de aquella región. Fue construido en 1967 con tubo de 1.016 mm de diámetro (40") y constituyó todo un reto tecnológico, en el que la fabricación del tubo, su revestimiento y las uniones de los tubos entre sí tuvieron una gran importancia.

La canalización de transporte del gas natural de Lacq con sus estaciones de compresión a lo largo del recorrido, año 1960 (Pichot, 1960: 25.)



Situación de la red de gasoductos de la URSS en 1973 (Intitut Français du Pétrole, 1975: 19).



Procedimiento de soldadura de tubos del gasoducto Bukhara – Urales, año 1967
(Falkevich, 1967: 6).

En 1963 se construyó el gasoducto entre Holanda y la entonces República Federal de Alemania, era la consecuencia de la explotación del yacimiento de Groningen en Holanda.

**Cuadro 8.31. Gasoductos internacionales
construidos hasta 1972**

año	Gasoducto Internacional
1946	Rusia - Polonia
1963	Holanda - Alemania
1966-67	Holanda – Bélgica - Francia
1967	Rusia - Checoslovaquia
1968	Rusia - Austria

Así pues el uso del gas natural ha propiciado que se extendiera una red de tuberías de

transporte interconectadas que, desde los yacimientos, se dirigen hacia los puntos de consumo. Desde los yacimientos de Holanda, del Mar del Norte, de Rusia, de Argelia, de Libia o de Irán, los gaseoductos submarinos y terrestres se dirigen hacia los países europeos que son consumidores de gas natural. Los gasoductos, las estaciones de compresión y las estaciones receptoras constituyen la red de transporte y su forma de conexión con la red de distribución.

En los años sesenta la red europea empezaría a progresar con los gasoductos de Francia y el gasoducto desde Holanda a Alemania y posteriormente otro gasoducto hacia Bélgica y Francia. Actualmente, pasados casi cincuenta años, la red de gasoductos europeos es inmensa y nada tiene que envidiarse en comparación con la de Estados Unidos.



Infraestructuras de transporte de gas natural en Europa en 1983 (Shell, 1983: 11).

También hay que considerar los gasoductos que trasladan el gas natural desde los yacimientos africanos de Zelten en Libia, o Hassi R'Mel en Argelia, a las plantas de licuación respectivas de Marsa el-Brega y Arzew. El gasoducto libio tiene 175 km de longitud canalizados con una tubería de 500 mm de diámetro que trabaja a 50 kg/cm² de presión. El gasoducto argelino tiene 505 km de longitud con una tubería de 600 y 500 mm de diámetro y trabaja a 70 kg/cm².

Actualmente los gasoductos que transportan gas natural en diversos lugares del mundo han ido aumentando tanto en longitud como en prestaciones. La tecnología de colocación ha ido perfeccionándose mucho, la fiabilidad de su colocación y puesta en marcha es muy elevada, tanto para la construcción del tubo, como para su protección, así como para las operaciones que se efectúan en campo, que sin desdeñar las demás, una de las más importantes es sin duda la soldadura. Los más importantes se encuentran en Rusia y los estados de la antigua Unión Soviética, como el sistema del Cáucaso, que transcurre desde Irán hasta San Petersburgo con 10.000 km de gasoductos, o el sistema de Boukhara hasta los Urales, con 5.800 km y una tubería de 40" (1016 mm) de diámetro. En Canadá el gasoducto más importante recorre todo el país y tiene 3.650 km con una tubería de 48" (1219 mm) de diámetro. En Estados Unidos el gasoducto de Alaska, atraviesa Canadá y continúa desde Alberta hasta California por una parte, y hasta Chicago por otra, con más de 7.500 km de recorrido y tuberías que alcanzan las 56" (1422 mm) de diámetro. En Europa occidental el gasoducto más largo es el que se instaló en 1983 que enlaza el yacimiento de Hassi R'Mel con el norte de Italia, el Transmed, como se conoce tiene 2.500 km con tuberías de entre 20 " (508 mm) y 48 " de diámetro y tiene una parte sumergida en el estrecho de Sicília. (SEDIGAS, 2005: 23).

8.8.1. Los gasoductos españoles

En España actualmente se distinguen dos tipos de transporte, de acuerdo con la legislación de 2002:

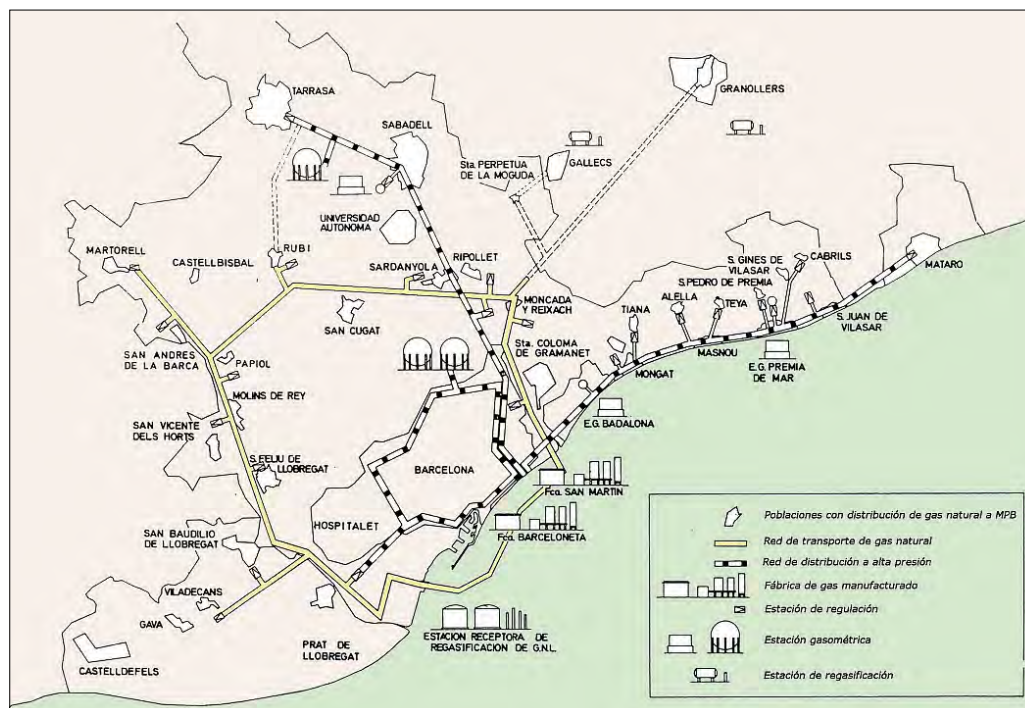
Cuadro 8.32. Tipos de transporte utilizados en España desde 2002

	Presión	Responsabilidad
Primario	superior o igual a 60 bar	ENAGAS
Secundario	entre 60 bar y 16 bar	las empresas distribuidoras

Fuente: R.D. 1434/2002: art. 122. Nota: (1 bar = 1, 01972 kg/cm²)

Sin embargo recordemos que las primeras instalaciones de transporte datan de cuando se transportaba el gas manufacturado desde las fábricas de Barcelona hasta la distribución de las ciudades de Sabadell y Terrassa, y también mediante otro gasoducto hasta Mataró. También fue en Barcelona que se construyó la primera red de transporte de gas natural de España.

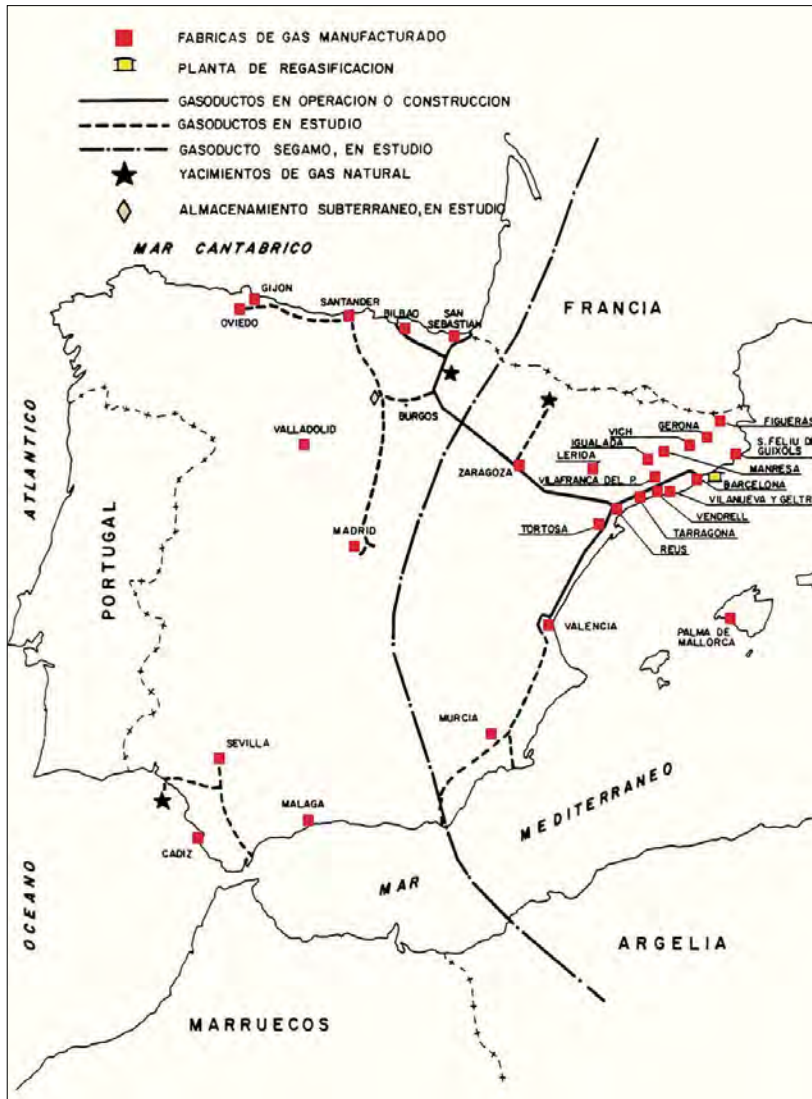
Esta distribución de gas natural se planteó con una nueva canalización que permitiese distribuir el gas a alta presión (Roca, 1973: 3). La canalización principal funcionaba a la presión de 36 bar, utilizó como material el acero tipo API-5L X-42, con tubos de diámetro de entre 80, 100 y 150 mm respectivamente soldado helicoidalmente, incluso esta canalización era susceptible de llegar



Estructura de la red de gas natural y gas manufacturado de Barcelona en 1973 (Roca, 1973: 3).

hasta la presión de 50 bar si era necesario. Los tubos eran unidos entre sí mediante soldadura eléctrica. La tubería recibía una

doble capa protectora dieléctrica y mecánica y el conjunto se protegía también catódicamente. Esta tubería, que rodeaba todo el cinturón



El gas en España en 1980 (Romaní, 1982: 109).

industrial de la capital catalana, tenía 98 km de largo de los cuales 13 km estaban situados bajo el mar. De esta red salían antenas que a través de estaciones reguladoras y de contaje alimentaban la red de distribución de las poblaciones por las que pasaba.

En España la red de gasoductos empezó a ser una realidad desde mediados de los años setenta. En noviembre de 1975, la Empresa Nacional del Gas S.A., que había sido constituida en 1972 para acometer el desarrollo de la gasificación a gran escala de España, y que había adquirido a Gas Natural S.A. sus instalaciones de Barcelona, así como los contratos de suministro de Libia y Argelia, obtenía la aprobación de su proyecto de transporte de gas natural hacia Valencia y Bilbao. (BOE, nov 1975). Con este proyecto, que representaba la canalización de 881 km de tubería a través de diferentes comunidades, empezaba una nueva etapa en la evolución tecnológica de la industria del gas española.

En julio de 1980 quedaba en servicio la primera línea de transporte por gasoducto desde Barcelona hasta Mora de Ebro, desde Mora de

Ebro hasta Castellón y desde Mora de Ebro hasta Calahorra y Vitoria, y posteriormente se completaba el proyecto con los tramos de Castellón a Valencia y de Vitoria hasta Vergara y dos ramas, una de Vergara a Bilbao y otra de Vergara a Irún.

El primer gasoducto con conexión a la red europea a través de Lacq se construyó, en la parte española, entre el puerto de Larrau hasta Calahorra a través del pirineo Navarro. Su diámetro es de 26” y se puso en servicio en 1993.

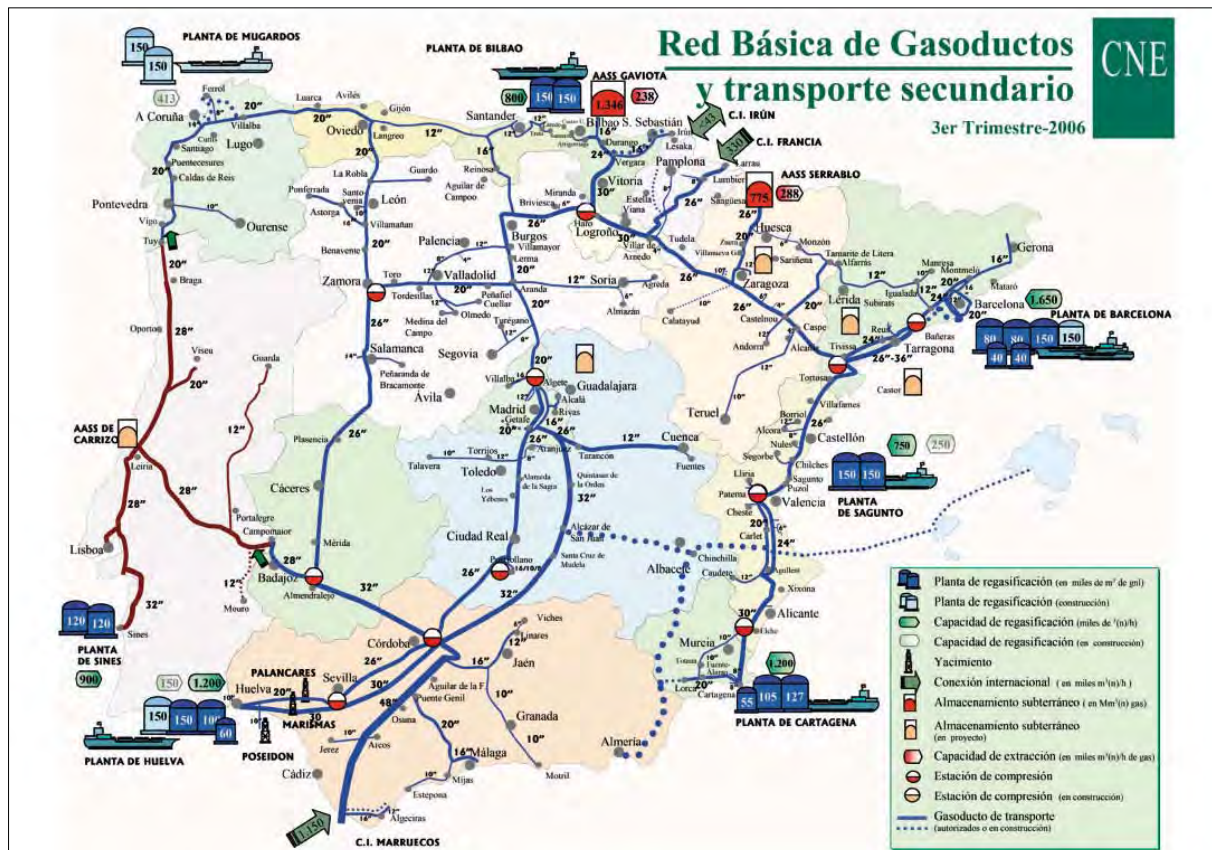
La primera conexión con el Magreb, fue precisamente el denominado Magreb-Europa que llega hasta Córdoba con un diámetro de 48” para dividirse desde allí en varias ramas, y que fue puesto en servicio en 1996.

En el año 2000 se encontraban en funcionamiento 5.300 km de tubería y en el año 2007 había aumentado aquella cifra a 9.300 km de tubería. Los diámetros de los gasoductos españoles oscilan de entre los de 6 pulgadas y el de 48 pulgadas del Magreb. Los diámetros más utilizados son los de 20, 26, 30 y 32 pulgadas (Gas Natural).

Cuadro 8.33. Gasoductos españoles en 1982

Gasoducto	Longitud	Diámetro
Barcelona – Mora de Ebro	156 km	24 “
Mora de Ebro – Valencia	253 km	26 “
Mora de Ebro - Calahorra	287 km	26 “
Calahorra – Vergara	161 km	30 “
Vergara – Bilbao	70 km	24 “
Vergara - Irún	88 km	20 “

Fuente: Romaní, 1982:106.



Red de transporte de gas natural de la península Ibérica (CNE).

8.9. La tecnología en el gasoducto

Una red de transporte de gas constituye un conjunto de gasoductos por los cuales el gas natural circula comprimido a una presión elevada, normalmente superior a 60 kg/cm² para que pueda transportar más cantidad de energía. Un gasoducto está constituido por

tubos de acero soldados los unos con los otros mediante métodos muy tecnificados para poder asegurar la estanqueidad del gasoducto.

El material utilizado para la tubería ha sido el acero desde el principio, porque era, y sigue siendo, un material que soporta muy bien las altas presiones y presenta, como veremos, características adecuadas para

este tipo de utilización. El desarrollo desde hace años de los materiales plásticos no ha alterado la utilización del acero como base para la fabricación de gasoductos.

El acero es combinación de hierro con un contenido en carbono entre el 0,05% y el 2%, que para su obtención ha pasado por varios procesos y tratamientos térmicos que han aportado al material su dureza, resistencia, ductilidad, tenacidad, elasticidad y además, según los componentes que contenga, alguna otra propiedad particular necesaria para su utilización.

Uno de los retos tecnológicos importantes de los años cincuenta fue el progreso en la realización de tuberías, principalmente a causa de la presencia de ácido sulfhídrico (SH₂) y dióxido de carbono (CO₂) en el gas y que eran componentes fuertemente corrosivos para el acero. Esta situación fue mitigada cuando, por ejemplo, en febrero de 1956 las acerías francesas lograban obtener un material resistente a la corrosión que aseguraba un transporte en condiciones fiables (*Gaz d'aujourd'hui*, 1998, nº3-141).

Otra característica importante en el acero utilizado para la fabricación de tuberías es su capacidad para poderse soldar, una propiedad que a veces empeora a medida que el acero tiene más elementos de aleación que le confieren propiedades importantes pero que por contra reducen su capacidad de soldadura; por ejemplo, el carbono le imprime dureza y elasticidad pero disminuye la soldabilidad y la tenacidad; o el manganeso y el silicio que aumentan la dureza y la resistencia a la tracción pero también en según que proporción llegan a perjudicar la soldabilidad.

Hay que decir que la preponderancia y el desarrollo que en Estados Unidos ha tenido el uso del gas natural han marcado totalmente la tecnología. Los materiales utilizados en las redes de transporte se han establecido y construido bajo unas normas propias de cada país y los criterios de cada empresa gasista, pero en esencia se han basado en la gran experiencia estadounidense, plasmada en distintas normas, como las emitidas por API (American Petroleum Institut) , ASTM o ASME (American Society os Mechanical Engineers). De ellas han surgido buena parte de las características que deben cumplir los procedimientos para la fabricación del tubo de acero, de su proceso de soldadura y de los tratamientos que debe tener para soportar todos los ataques químicos y bacteriológicos que comporta su colocación enterrada o submarina. Por ejemplo, la norma API 5 es básica en el suministro de la tubería de acero al carbono estirado o soldado longitudinalmente, o la norma API 5 LS para el suministro de acero al carbono soldado helicoidalmente. Ambas utilizadas en España.

El avance tecnológico de los últimos decenios en metalurgia del acero ha sido importante para dotar a los tubos de acero de mayores características de resistencia y durabilidad. El que se considera primer hito en la fabricación de tubería de acero de grandes diámetros fue el procedimiento que se utilizó en el oleoducto *Trans-alaska Pipeline System* (TAPS) también conocido como "*Alyeska Pipeline*" una tubería de 1.300 km, de 48 pulgadas (1,22 m) de diámetro, fabricada con acero API - X65, que va desde la bahía de Prodhoe en el oceano ártico hasta el golfo de Alaska, en Valdez. Fue construida entre marzo de 1975 y mayo de 1977, y se

proyectó para resistir todas las inclemencias internas del petróleo extraído en Alaska y las externas de un clima extremo como el ártico (López Abelleira, 2000: 151).

El acero, material utilizado constantemente en la totalidad de las grandes infraestructuras de gas, ha ido avanzando en su recorrido de fabricación para tener mayores garantías de comportamiento, así como en los ensayos que se exigen antes de su aceptación. Por su interés reproducimos una tabla que caracteriza el avance en los requisitos que se exigen a la tubería de acero y que ha permitido avanzar en la construcción de gasoductos, tanto los terrestres, como los que se colocan en Siberia o Alaska,

expuestos a temperaturas extremas, como los submarinos, expuestos a presiones elevadas y ataques químicos permanentes.

Hemos indicado anteriormente que en Estados Unidos se utilizaban tubos de acero sin soldadura, también se utilizaron en Francia en su primer transporte de Saint Marcet. El acero empleado para estos tubos sin soldadura se situaba en los tipos X37 o incluso X42. Sin embargo de este tipo de tubería solo se podían obtener diámetros pequeños.

Los diámetros mayores necesitaban fabricarse a partir de chapa de acero que se iba adaptando a la forma circular mediante doblado longitudinal o formando

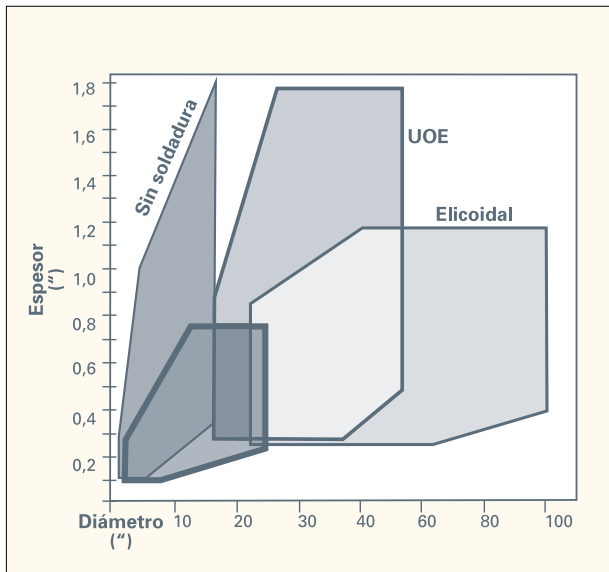
Cuadro 8.34. Evolución de los requisitos de las tuberías de acero

Requisito	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995
	X 52 X 60						
Grado API 5L			X 65				
			X 70				
						X 80	
Relación espesor/diámetro	2%		3%			5%	
Tenacidad	Péndulo de Charpy						
Temperatura de ensayo	0 °C		-5 °C	-20 °C	-30 °C		
Energía absorbida en el choque (J)	34	61	81	122			
Carbono equivalente (IIW %)	0,45		0,43	0,40	0,39	0,38	0,35
Corrosión	ninguno	Ensayo HIC (BP)					
		Ensayo NACE					

Fuente: López Abelleira, 2000: 152.

una helicoide, en ambos casos se necesita la soldadura del tubo para obtener la estanqueidad necesaria. Los tubos de grandes dimensiones, superiores a las 60 pulgadas de diámetro siempre han sido fabricados por una helicoide soldada, como muestra la gráfica que sigue:

Gráfico 8.4. Tipos de soldadura de tubos



Fuente: Ingeniería química, n° 367, abril 2000: 158).

En general la red de transporte inició su etapa de grandes gasoductos con acero X52 y ha continuado tomando en consideración otros aceros de superiores prestaciones. También, desde los años 70, los tubos de diámetro superior a 16" (400 mm) están pulidos en su interior para mejorar la conducción.

El aumento de la demanda de gas natural ha llevado como consecuencia la de ir aumentando

la presión de transporte así como el diámetro de las tuberías. Porque la diferencia de presión en un gas aumenta con la longitud y el caudal circulante y disminuye con mayor diámetro. Es la fórmula de Colebrook que se utiliza en todas las canalizaciones:

$$p_1^2 - p_2^2 = k \times \frac{L \times Q^2}{D^5}$$

Donde p_1 y p_2 son la presión al final y al origen, L la longitud, Q el caudal y D el diámetro de la tubería, y k es un coeficiente que depende del tipo de tubería y su rugosidad.

En el año 1888 la empresa *Bradford Gas Co* construyó en Estados Unidos gasoductos para trabajar a la presión de 30 kg/cm². Actualmente la red de transporte que se construye de acuerdo con las normas internacionales se diseña para trabajar a presiones de hasta 80 kg/cm². La presión de trabajo define el espesor de la pared de la tubería, sin embargo en los gasoductos submarinos esta medida está también adaptada a la profundidad de instalación de la misma, como será el gasoducto Medgaz, entre Argelia y España, que tendrá tubos con un espesor de 22,9 mm en los tramos de aguas poco profundas, hasta 800 m, tubos con espesor de 28,5 mm en los tramos de aguas profundas, hasta 1.900 m y tubos con espesor de 29,5 mm en los tramos con profundidad mayor que 1.900 m y hasta la máxima cota tendido que será de 2.160 m.

El aumento de diámetro de la tubería ha traído como consecuencia la necesidad de utilizar un acero de mayor límite elástico para así poder reducir el espesor de la



Gasoducto en construcción
(Gas Actual, nº 106, feb. 2008: 34).

pared del tubo y este ser menos pesado de manejar. Ello se ha podido conseguir aumentando el contenido en carbono del acero considerando que repercute negativamente en la capacidad de soldadura de los tubos o también aumentando el contenido de otros metales en la composición del acero, como por ejemplo el vanadio.

La resistencia de un gasoducto ha sido uno

de los aspectos que más se ha trabajado, en consecuencia los ensayos aplicados a la tubería han ido tomando importancia con la progresión de las longitudes instaladas. En los años sesenta, en la construcción del gasoducto de 505 km entre Hassi R'Mel y Arzew que tiene diámetros de 500 y 600 mm se aplicaron ensayos de fatiga a una serie de tubos con ciclos de presión entre 4 a 77 kg/cm² que demostraron que no todos los tubos tenían el mismo comportamiento (ATG, 1970: 12). Este tipo de ensayos permite mejorar la capacidad de resistencia del tubo así como de la soldadura, ya que durante su funcionamiento deberán trabajar al unísono.

Las etapas de instalación de un gasoducto son las siguientes:

- Construcción del tubo
- Unión de los tubos por soldadura
- Colocación de los tubos en su sitio
- Comprobación y puesta en gas del gasoducto

Además de las propiedades del material, en la construcción de un gasoducto el punto más importante es la unión de los distintos tramos de tubo. En los primeros gasoductos se utilizaba tubos de hierro forjado con uniones mediante bridas, pero la utilización del acero ha traído como consecuencia la soldadura de los tubos. El primer tipo de soldadura empleada en los tubos fue la oxiacetilénica, que permitió, a partir de los años 1915, unir el acero con garantías de una unión resistente y duradera. Un avance importante fue la aplicación a partir de 1928 de la soldadura eléctrica, que aún se sigue

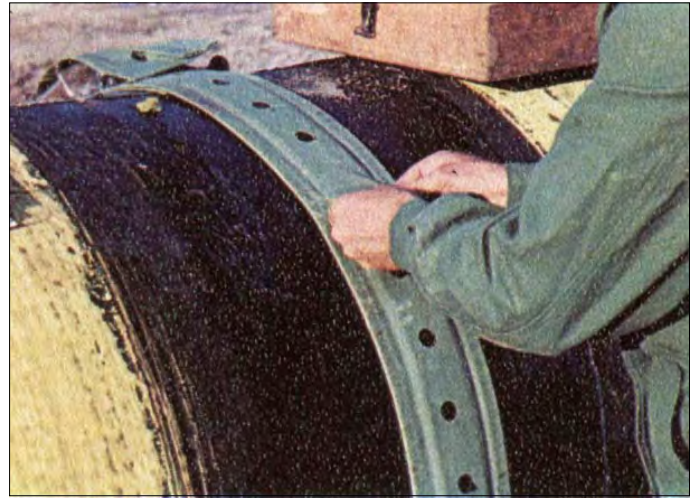
utilizando, aunque los equipos y el electrodo de aporte de material se hayan modificado enormemente (Orozco, 1979: 837)

Los tubos son construidos en tramos de entre 6 a 12 metros y transportados hasta el punto de colocación de la zanja para ser acondicionados y soldados.



Soldadura de tubo en un gasoducto en Qatar (EUROPIPE).

Sin embargo el gasoducto antes de ponerse en servicio y también antes de que sea enterrado debe verificarse que no presenta fugas, para lo cual se han desarrollado diferentes técnicas de ensayo que aportan las suficientes garantías de idoneidad: pistón óptico, sistemas magnéticos, sistemas por ultrasonidos o sistemas radiográficos, todos



Recubrimiento de la soldadura. Gasoducto de gas natural construido en 1969 en Barcelona (Gas Natural S.A.).

persiguen la misma idea, comprobar que la tubería no presenta ninguna fisura por donde pueda salir el gas.

La construcción de un gasoducto terrestre se puede separar en cinco etapas. La apertura de una pista que sigue el trazado previsto del gasoducto, una vez la pista está despejada se procede a la excavación de la zanja, usualmente de algo más de 1 metro de profundidad. Con la zanja abierta se van colocando los tubos fuera de la zanja pero adaptados a la configuración de la misma y se va procediendo a su soldadura entre ellos. Una vez soldada se procede a reconstituir el revestimiento en la parte soldada, pues el revestimiento en la parte central ya habrá sido colocado en fábrica. Se inspecciona visualmente toda la tubería por tramos y

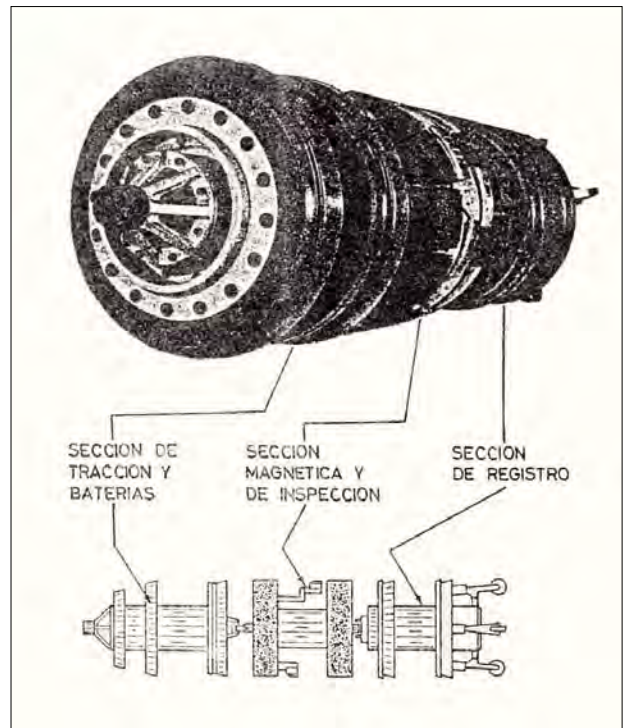
también con la ayuda de medios técnicos, y se la coloca en el interior de la zanja. Antes de volver a poner la tierra de la zanja se vuelve a inspeccionar, se somete a una prueba hidráulica a presión y finalmente se cierra la zanja y se restituye el terreno en su estado original.



Soldadura de tubo de acero (Gas Natural, S.A.).

Cuando el gasoducto ya se encuentra enterrado se efectúan inspecciones periódicas para detectar posibles fugas. Unas de estas inspecciones son visuales; por ejemplo se detecta que existe una fuga si hay un cambio en el aspecto de la vegetación que se encuentra alrededor del gasoducto. Otras inspecciones son mediante aparatos

detectores como la unidad magnética, un dispositivo que se desplaza por el interior de la tubería y que detecta los defectos mediante el campo magnético. La evolución de la tecnología de inspección mediante técnicas no destructivas es una constante en este ámbito, se efectúan en todas las fases de construcción aplicando desde los sistemas de detección por penetración de líquidos por capilaridad, la aplicación de radiografías a la tubería, aplicaciones de ondas luminosas tipo láser que redundan en un mejor acabado del trabajo de construcción del gasoducto y una fiabilidad mayor en su funcionamiento.

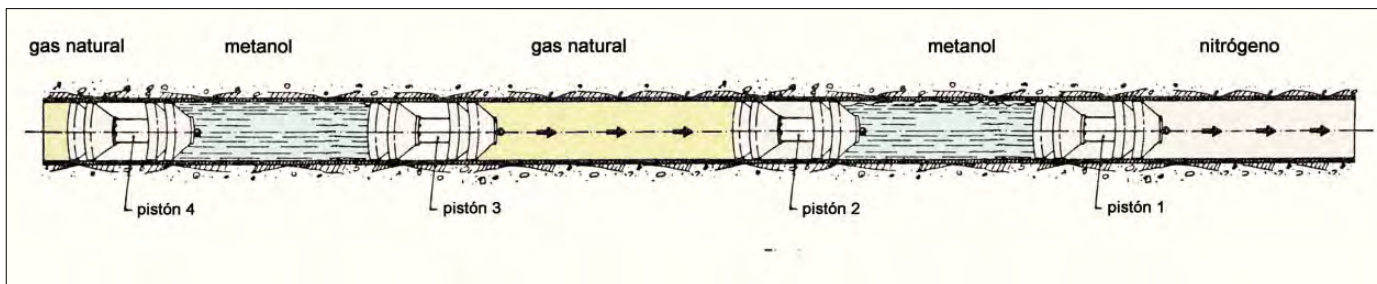


Carro magnético de inspección de gasoducto
(García Soto, 1982: 20).

La operación final de toda construcción de un gasoducto, y muy importante, es lo que se denomina “la puesta en gas”, que representa dar paso al gas por el gasoducto o un tramo del mismo, sin embargo esta operación que sería sencilla con la simple apertura de una válvula no se puede efectuar sin unos requisitos previos, que tienen en cuenta la seguridad tanto de la canalización como de la posterior explotación del tramo. La puesta en gas representa efectuar operaciones de limpieza interior del gasoducto, de secado del mismo, de inertizado del gasoducto y finalmente se procede al llenado con gas natural.

Antes de la operación de limpieza propiamente dicha se hace pasar por toda la tubería analizada una placa calibrada con un diámetro definido, que es función del diámetro interno del tubo, de los espesores de las juntas y de las tolerancias internas del tubo, para comprobar que no hay ninguna parte del tubo diferente y que no hay obstáculos en su interior, siendo impulsada por aire comprimido. Si la placa calibrada queda parada representa existencia de un obstáculo importante y se procede a descubrir la tubería y comprobar la situación.

Superada esta fase se introduce lo que se conocen como trenes de limpieza, formados por pistones que se adaptan perfectamente al tubo y que constituyen auténticos émbolos. El espacio entre dos pistones viene cargado con metanol (un absorbente de la humedad) y estos son impulsados por gas natural a presión. Su misión es limpiar la tubería de los residuos pulverulentos y extraer toda la humedad. El tren de limpieza y secado se introduce cuando previamente se ha inertizado un tramo del gasoducto con nitrógeno, un primer tren está compuesto por dos pistones entre los cuales se introduce etanol que es el que efectuará la limpieza del interior, después de este tren se introduce gas natural y un segundo tren también compuesto por dos pistones entre los cuales está presente el etanol que vuelve a ejercer la función de limpieza y secado. Estos dos trenes son impulsados por el gas natural y después de esta operación se efectúa una limpieza final de etanol residual que haya quedado en puntos bajos. Una prueba final de estanqueidad mediante aire a presión permite confirmar que el gasoducto está preparado para poder transportar el gas natural.



Dibujo de un tren de limpieza y secado de un gasoducto (Notario y de la Rua, 1989: 13).

Con posterioridad a la puesta en servicio y como tarea de mantenimiento del interior de los gasoductos, se efectúan limpiezas del interior con un pistón rascador que se hace desplazar a presión entre tramos de tubería.

8.10. La lucha contra la corrosión

La corrosión es un componente que se debe tener siempre presente en los metales utilizados en canalizaciones, enterradas o en superficie. La corrosión es una de las principales causas de fugas de gas y, en nuestro caso, el acero de las tuberías está sometido a varias clases de corrosión.

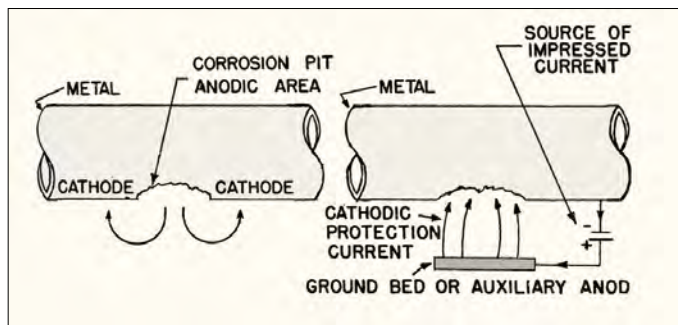
En el interior del tubo la corrosión puede ser ocasionada por agresión química de algún componente del gas que circula por el mismo. En el exterior, por la interacción entre la propia tubería con su entorno natural, el terreno donde se asienta, con la influencia de acciones diversas, de origen químico, eléctrico y también el ataque de bacterias y hongos.

La corrosión interna se consigue eliminar o reducir mediante la emisión de un gas menos

corrosivo, que es lo que la tecnología ha ido consiguiendo, pero también se puede añadir un revestimiento en la capa interna de la tubería para alcanzar mayores niveles de protección.

La corrosión externa se consigue eliminar o reducir protegiendo la tubería con recubrimientos resistentes a las acciones destructivas lo que se conoce como protección pasiva. El material de recubrimiento debe tener varias propiedades: ser inalterable a los agentes químicos del suelo, tener la propiedad de repeler el agua, poseer capacidad de adherencia con el acero y además resistencia mecánica al impacto y a la abrasión.

Pero otra técnica imprescindible para proteger la corrosión del acero es utilizando una protección catódica, una aplicación de la teoría electroquímica, que es como una protección activa. Los fenómenos electroquímicos que ocurren en los metales enterrados, generalmente en ambiente húmedo, generan una corriente eléctrica continua desde uno de los metales, que hace de ánodo, hasta otro, que hace de cátodo, ocurre que el ánodo pierde electrones y el cátodo los gana, dicho de otra forma, el ánodo se desgasta y el cátodo aumenta su volumen.



La protección catódica incorpora un ánodo que permite contrarrestar la corrosión electroquímica presente en las estructuras metálicas enterradas (Segeler, 1965: 11/29).

En una canalización el acero toma el papel de ánodo mientras que el entorno donde está situado; otra parte de la estructura o el suelo, toma el papel de cátodo, por tanto el acero siempre tiene una corrosión electroquímica, una corrosión que debe anularse si se quiere proteger la tubería.

Esta corrosión puede presentarse de forma uniforme o de forma localizada, en las tuberías la corrosión más extendida es la uniforme, como sucede principalmente en los gasoductos submarinos pero también en los terrestres que se encuentran enterrados.

El método de protección activa consiste en que el acero de la tubería no sea el ánodo principal -modificando su potencial electroquímico- y que el ánodo propiamente dicho, que es el material que se corroe electroquímicamente sea una pieza adicional a la tubería que se llama ánodo de sacrificio. De esta forma el desgaste que sufriría el acero por causa de su polaridad eléctrica negativa lo tendrá este ánodo que está localizado y se puede renovar periódicamente. La protección catódica introduce una corriente eléctrica contraria a la que produciría la corrosión y anula sus efectos. La protección catódica del acero se viene realizando con ánodos de cinc, aluminio y magnesio, que son metales más electronegativos que el hierro y son los únicos que permiten esta actuación de acuerdo con la teoría electroquímica.

Una innovación introducida en la prevención contra la corrosión electroquímica fue la aplicación de equipos que suministrasen corriente continua a la tubería, creándose un circuito artificial que se contrapone al circuito electroquímico de corrosión entre el acero y el suelo.

La protección electroquímica no evita preveer

el uso de protección con recubrimientos. El material utilizado durante muchos años para proteger el acero consistió en recubrir el tubo con una capa de betún aplicado en caliente durante su mecanización. Posteriormente, desde los años 1970, se ha utilizado como revestimiento una capa de asfalto oxidado y alquitrán de hulla también aplicados en caliente para una mayor adherencia.

En la tecnología de canalizaciones de tubos de acero, la capacidad de resistencia del revestimiento exterior ha sido siempre una de las características importantes del material que se utiliza para proteger el acero de la corrosión. La adopción del polietileno fue uno de los avances en este aspecto porque los recubrimientos asfálticos utilizados anteriormente eran vulnerables a la influencia térmica, así como también a los golpes que se les daban en el transporte y en su colocación en la zanja. En los años ochenta se adoptó el recubrimiento de polietileno, un material muy resistente al impacto y que además garantizaba una buena protección anticorrosiva al ser resistente al agua y a los elementos químicos que se encuentran en el subsuelo. De esta forma los tubos de acero salían de fábrica recubiertos con este material en casi toda su longitud excepto en los extremos para poderse soldar fácilmente. En el terreno, y una vez soldados los tubos, se recubría la parte de la soldadura y ambos lados de la misma que no tenía polietileno con cintas especiales que daban a dicha parte la misma protección que el resto del tubo.

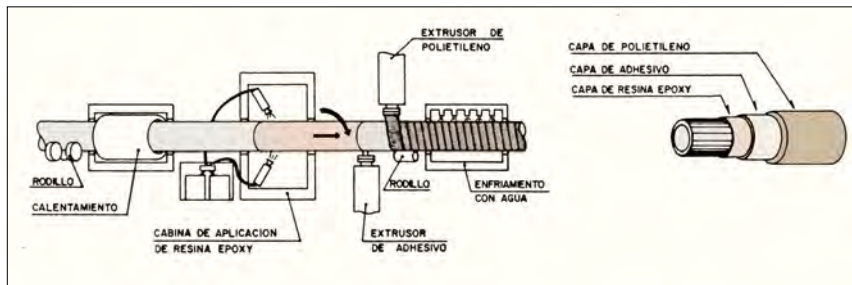
En los años 1980 en Europa se empezaron a utilizar los materiales termoplásticos, principalmente el polietileno, y en los Estados Unidos dejaron de usar polietileno y prefirieron los materiales termoendurecibles, principalmente las resinas epoxi. Las diferencias entre uno y otro han ido quedando demostradas en los diferentes

ensayos y canalizaciones. El polietileno es más resistente a la humedad que la resina epoxi, pero el tubo aislado con polietileno presenta mayor probabilidad de filtración de humedad entre el recubrimiento y el acero, mientras que la resina epoxi tiene un buen comportamiento con la protección activa en polarización negativa, el polietileno, en este caso, presenta una tendencia al desprendimiento de la superficie del tubo.

Estas circunstancias y alguna otra provocaron que ya a mediados de los años 1980 se trabajara en una protección basada en la combinación de los dos materiales, una primera capa de resina epoxi aplicada directamente al acero en caliente y una capa de polietileno de recubrimiento exterior a la que previamente se le ha añadido una capa de adhesivo. Esta solución era impermeable al agua tanto por el flanco lateral como longitudinalmente y mantenía la propiedad de resistencia a la abrasión del polietileno. También presentaba una buena resistencia a la inmersión en el caso de tubos submarinos.

En los tubos de acero se han incorporado otros procesos de revestimiento, con productos bituminosos armados de fibra de vidrio (*Gaz d'aujourd'hui* 3-1998), también se han utilizado resinas fenolic epoxi (FBE) que resisten temperaturas de 160 °C y poliolefinas, no obstante la aceptación general que tiene el polietileno o últimamente el poliuretano han llevado a que estos nuevos compuestos no estén aún demasiado difundidos.

Desde hace unos años se utilizan los recubrimientos de poliuretano y alquitrán, que tiene una resistencia eléctrica y mecánica superior al recubrimiento de polietileno. La aplicación del poliuretano es similar al polietileno. La colocación del material se efectúa en caliente previa preparación de la tubería limpiándola de óxido o impurezas adheridas a la pared y colocando el adhesivo mediante un sistema electrostático. La mezcla de poliuretano y alquitrán se aplica por proyección contra el



Aplicación de la resina epoxi y el polietileno en un tubo de acero (Torralva, 1986: 13).

Así pues, en las especificaciones de los gasoductos, estas deben incorporar el tipo de revestimiento que tendrá el mismo y el sistema de aplicación, tanto para la tubería que llega de fábrica, como en las uniones soldadas en el terreno.

tubo. Una vez recubierta la parte exterior de la tubería, la dureza de la capa hace muy difícil su eliminación.

En lo que se refiere a la parte interior de la tubería, se ha comprobado que las tuberías sin recubrimiento erosionan más deprisa que

las que están recubiertas. Así pues en algunos gasoductos se efectúa un recubrimiento con material polímero de base epoxi, que influye en la protección contra el posible ataque químico que pueda ejercer alguno de los componentes corrosivos del gas natural, como el SH_2 o también el contenido de humedad que pueda tener el gas. Su otra principal utilidad es que mejora el alisamiento de la superficie interior –reduce el coeficiente k de la fórmula de Colebrook– y por tanto consigue una menor pérdida de presión del gas en el transporte. El proceso de recubrimiento y la propia capa también inciden en una casi nula existencia de polvo en el interior del gasoducto.

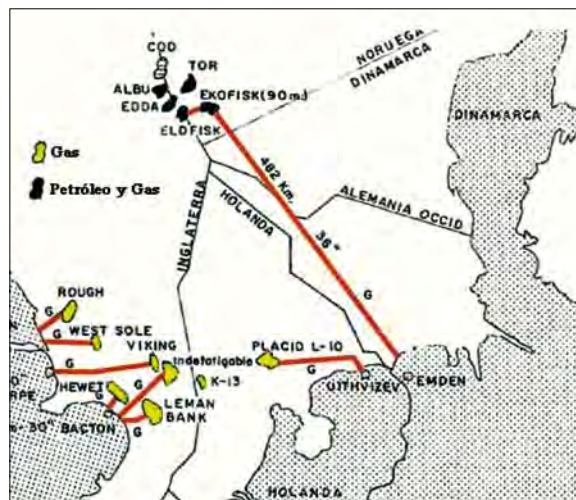
8.10.1. Construcción de gasoductos submarinos

Cuando se inició la extracción de gas natural procedente del Sahara, España era uno de los países que tenía más posibilidades de poder conectar con el continente africano mediante tuberías bajo el mar Mediterráneo. El estrecho de Gibraltar no llega a los 200 km y en sus aledaños se encontraban lugares propicios para poder emplazar la conexión submarina, además en este lugar el fondo marino no sobrepasa los 450 metros de profundidad, hecho que le hacía, junto con el estrecho de Italia en Sicilia, que tiene unos 200 km y llega hasta los 600 metros de profundidad, un punto de referencia para poder conectar África y Europa mediante gasoducto.

En los años cincuenta, los métodos de tendido submarino eran, por una parte el método de la tracción por el fondo, en el cual se arrastraba la tubería por el fondo marino, pero requería unos fondos regulares, y por otra existía el método de tracción por superficie en que el tubo quedaba prácticamente en la superficie. El primero tenía

limitaciones respecto de la longitud a canalizar, mientras que el segundo no. Sin embargo la tecnología fue avanzando y el arrastre por el fondo para grandes longitudes se convirtió en un arrastre con el tubo en flotación con flotadores y contrapesos de forma que el tubo permanecía aproximadamente horizontal pero a bastante profundidad. En lo que se refiere a la unión de los tubos esta se hacía antes de introducir el tubo en el agua

En 1962 *Gaz de France* procedió a un método de canalización submarina que consistía: primero en adecuar mediante el revestimiento anti-corrosión tramos de 3 a 5 km como máximo, que luego se colocaban los buques de tendido. En el mar, el buque dejaba caer en el agua los tramos y estos, mediante flotadores fijados rígidamente al tubo y boyas fijadas al tubo mediante cables para que el conjunto flotase, se irían situando en el sitio previsto. Su colocación definitiva se realizaba a medida que la longitud fuese aumentando y su posicionado quedase fijado.



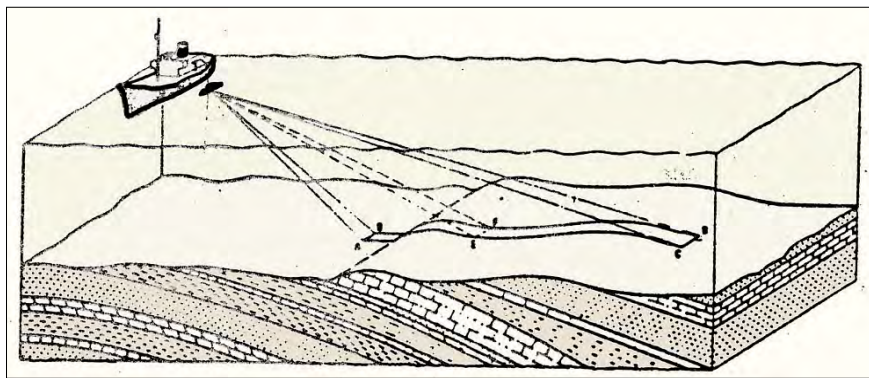
Yacimientos y gasoductos del Mar del Norte en 1979 (Orozco, 1979: 842).

En 1976 se dejaba en servicio el gasoducto submarino conocido con el nombre de Norpipe, con tubos de 36" de diámetro y 443 km, entre la plataforma Ekofisk, en el Mar del Norte, y la planta terminal de Emden, en Alemania para ser distribuido en la red europea. La plataforma había iniciado su explotación en 1971. No era el primer gasoducto submarino, en 1967 y 1868 se habían instalado los gasoductos de Western Sole –Easington, en aguas del Reino Unido, con tubos de 16" y 68 km de longitud y Lemman Bank– Backton con tubos de 30" y 56 km respectivamente, pero era el primer gasoducto submarino de importancia. En 1978 era el gasoducto entre la plataforma Frigg, también en el Mar del Norte con tubos de 32" de diámetro y 360 km de longitud. Las profundidades en estos gasoductos no alcanzaban los 100 metros, lo que facilitó su colocación.

En 1980 se instaló el gasoducto del estrecho de Sicília que unía Argelia con Italia a través de Túnez con 160 km de longitud y profundidades de hasta 600 metros. Sin embargo ha sido la explotación del Mar de Norte la que ha

constituido un desafío implantándose varias plataformas de extracción de gas o gas asociado con petróleo y sus correspondientes gasoductos hacia las costas de Noruega, Gran Bretaña, Alemania y Holanda.

Para un gasoducto submarino las características más importantes a considerar son: la topografía del fondo del mar, las condiciones del terreno y la hidrodinámica del mar en aquel sector. Las técnicas de prospección de la topografía del fondo marino se han basado en sistemas de ultrasonidos, que han permitido determinar la profundidad del fondo y el relieve. La inspección visual del fondo mediante batiscafos o submarinos ha complementado el conocimiento del posible trazado a considerar. También se han debido efectuar estudios geotécnicos para determinar el tipo de roca del suelo y el subsuelo y su estabilidad, mediante toma de muestras y ondas sísmicas provocadas artificialmente. Todas estas técnicas ya se utilizaron en las primeras investigaciones para situar los gasoductos submarinos de África y el Mar del Norte a finales de los años setenta.

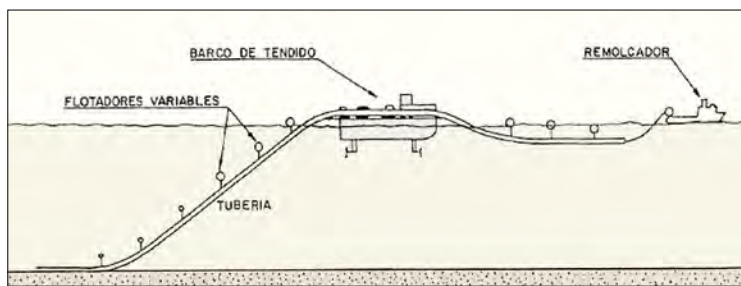


Esquema de funcionamiento de un sonar lateral para el estudio morfológico del fondo marino (Gonzalo de Navacerrada, 1980: 8).

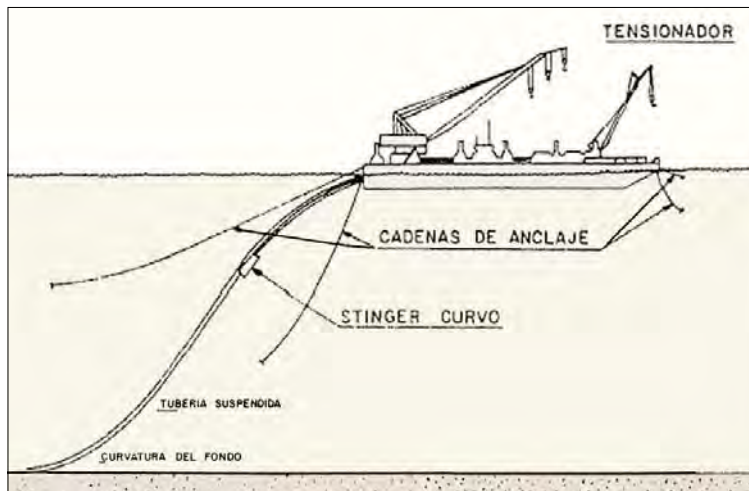
La colocación de tuberías subterráneas no ha sido una tarea fácil, los materiales utilizados en la tubería, su colocación en lugares que presentan variabilidad en la profundidad, su protección frente a agentes externos, fueron dificultades que tuvieron que ser resueltas con soluciones técnicas muy costosas.

Los yacimientos de gas en las plataformas oceánicas han traído como consecuencia que el transporte del gas natural tenga que forzosamente

circular por gasoductos submarinos y la tendencia es que estos se encuentren cada vez más en aguas profundas lo que implica gasoductos con mayores solicitaciones en su funcionamiento y mayor atención en su colocación. Usualmente la tubería submarina se fabrica con acero de alta calidad, con tendencia a dotar a la misma de gran resistencia a la tracción con un peso reducido, lo que implica que por contra la capacidad de soldadura queda algo reducida.



Tendido de tubos submarinos en aguas medias (Orozco, 1979: 846).



Tendido de tubos submarinos en aguas medias (Orozco, 1979: 846).

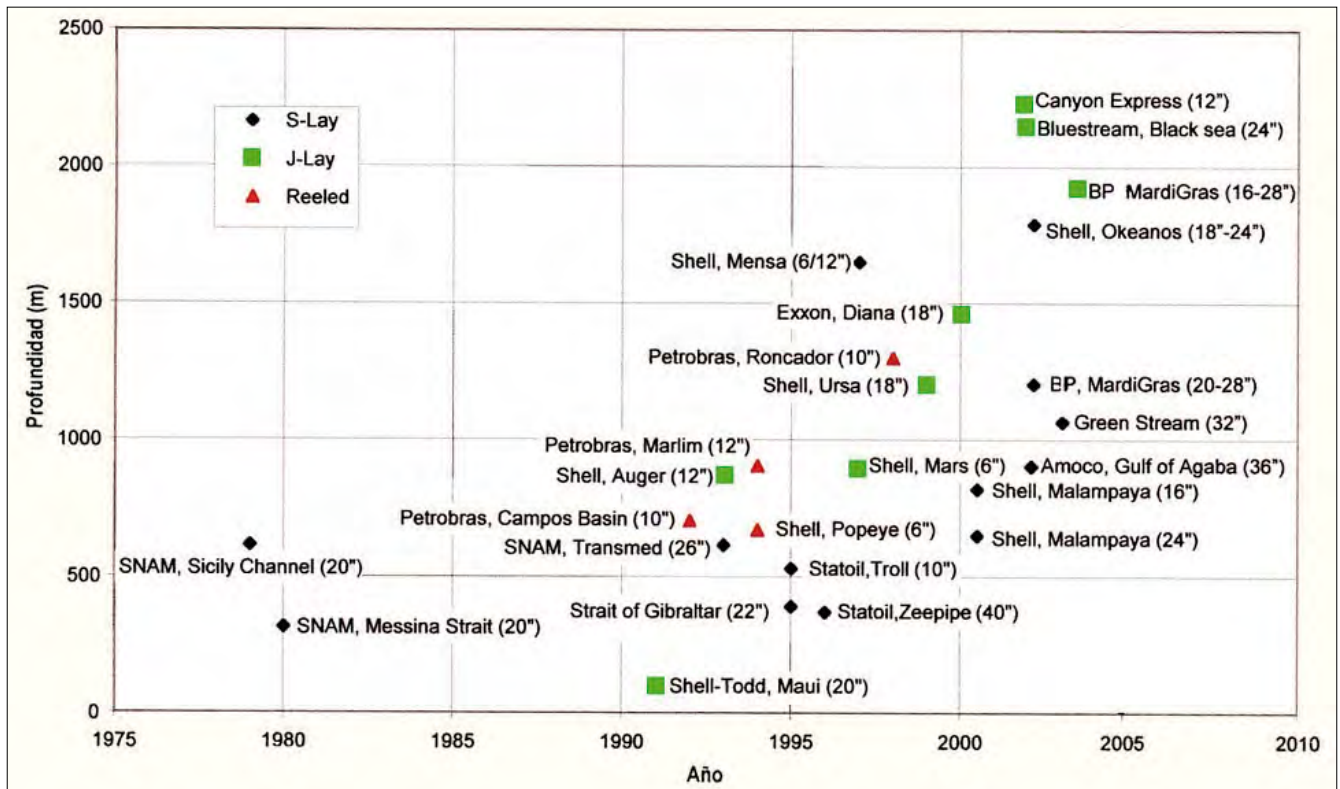
El método de unión de los tubos puede ser: por soldadura eléctrica manual, por soldadura automática, mediante juntas roscadas o por conectores mecánicos. Cada uno de estos métodos tiene sus ventajas y sus limitaciones dependiendo de los requisitos del gasoducto y de la capacidad de manejo del tubo.

En el gráfico se puede seguir la evolución de los gasoductos submarinos hasta 2005 donde se

diferencian las formas utilizadas para depositar tubos en el fondo del mar: S-lay indica que se ha utilizado el sistema que va dejando el tubo en forma de S (aguas medias o muy profundas), mientras que J-lay representa el sistema en forma de J, utilizado en aguas profundas.

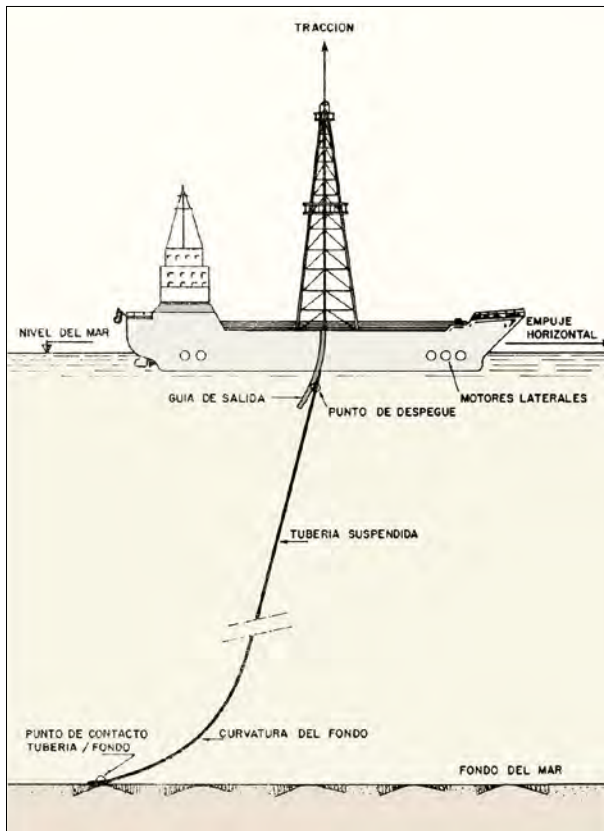
La evolución técnica de los gasoductos ha sido la fiabilidad en la colocación y operación en aguas profundas, combinada con la calidad del acero,

Gráfico 8.5. Gasoductos submarinos



(SEDIGAS, 2005: 22).

la soldadura de los tubos y el proceso de revestimiento exterior. En este momento, en el proyecto denominado *Langeled*, se han alcanzado profundidades del orden de los 1.000 metros en el Mar del Norte. Es el gasoducto submarino que une Nyhamma en Noruega con Easington en Gran Bretaña, pasando por la plataforma Steiner, que hoy es el de mayor envergadura del mundo, con unos 1.200 km de longitud, un tramo tiene un diámetro de 42" y funciona a 250 bar de presión, y otro tramo 44" y funciona a 155 bar.



Tendido de tubos submarinos en aguas profundas (Gorospe y Lopez, 1982: 12).



Tendido del gasoducto de 42" de diámetro del proyecto Langeled en el Mar del Norte (EUROPIPE).



(Gas Actual, nº106, feb-abril 2008: 39.)

8.10.2. El gasoducto del Magreb

La idea de transportar el gas natural desde los yacimientos Argelinos hasta Europa empezó en el año 1957, cuando Gaz de France se planteó este proyecto. La tecnología de colocación de tuberías en el fondo del mar era conocida por colocación de tuberías de petróleo, aunque se desconocía la morfología del fondo marino de la zona así como las corrientes marinas, que eran los principales obstáculos que influían en la decisión de colocar el gasoducto en un punto u otro.

Los estudios sobre el gasoducto se vieron afectados por la política y en una nueva etapa, en 1973 se empezó a estudiar otra vez el proyecto

por la sociedad *Société d'Etudes du Gazoduc de la Méditerranée* (SEGAMO). En principio el trazado submarino más corto era por la zona de Gibraltar, pero los estudios mostraron que podía efectuarse un trazado más directo entre Argelia y España, por las costas de Almería, lo cual evitaba pasar por Marruecos. En 1978 el trazado más bien definido estaba situado entre Beni-Saf en Argelia y Cabo de Gata en España con 200 km de longitud y profundidades superiores a 1.500 m y una profundidad máxima de 2.160 m.

Pero hubo cambios y finalmente se concretó que el trazado más idóneo, tanto económicamente como políticamente, era a través de Marruecos y el estrecho de Gibraltar. El gasoducto entre el Magreb y España se iniciaba en el año 1994 y tardó

dos años en finalizarse. Supuso un gran paso en la completa gasificación de la península Ibérica y fue la obra de ingeniería gasista más importante que se realizó en los años noventa.

El gasoducto comunica el yacimiento de Hassi R'Mel en Argelia con la red de gasoductos españoles, tiene 1.400 kilómetros de recorrido. Fue diseñado para que su capacidad de transporte alcanzara los 20.000 millones de m³ al año. El proyecto empezó a elaborarse en 1990 y se construyó entre el segundo semestre de 1994 y finalizó en marzo de 1996. A finales de septiembre el gas natural llegaba a Tarifa y en noviembre de 1996 iniciaba su explotación comercial después de haberse efectuado todas las pruebas.

El proyecto se dividió en cinco tramos, los cuatro primeros eran los principales y el quinto era la extensión hasta Portugal añadida posteriormente:

En lo que se refiere a la parte continental, que tenía una longitud total de 1.587 km, se fue construyendo mediante la colocación de 120.000 tubos de 12 metros de longitud, 48 pulgadas (1,22 m) de diámetro y una pulgada de espesor. Toda la tubería fue revestida interiormente y exteriormente para su protección contra la corrosión. Esta operación se realizó en una planta construida ex profeso para esta finalidad en Nador (Marruecos).

Las operaciones de ejecución del gasoducto se resumen en: apertura de la zanja, después se alinearon los tubos al lado de la zanja y se procedió a la soldadura y posterior inspección de la misma. La introducción de los tubos en la zanja junto con la protección catódica y los cables de comunicación de fibra óptica fue una operación más complicada, mientras se iban construyendo las innumerables estaciones de válvulas de seccionamiento que existen a lo largo de la línea. El acabado del gasoducto residía en la inspección general y cierre de la zanja.

Los 47 km de la parte submarina del estrecho de Gibraltar consiste en dos conductos de 22 pulgadas de diámetro cada uno. Es la parte en que la tecnología ha influido más en toda la canalización. Los tubos se depositaron en los fondos marinos con profundidades de hasta 400 metros. El recorrido fue decidido después de una investigación oceanográfica que analizó la morfología de los fondos marinos, las corrientes submarinas, y los obstáculos que se encontraban en el terreno.

La elección de dos tuberías en lugar de una sola es consecuencia de la dificultad que estriba el trazado submarino, y la duplicidad permite la posibilidad de mantener un conducto en funcionamiento mientras el otro se encuentra en revisión o en reparación. Proporciona garantía de continuidad

Cuadro 8.35. El gasoducto del Magreb

Tramo	Origen - final	longitud
Argelia	Hassi R'Mel –frontera Argelia-Marruecos	520 km
Marruecos	frontera - Tánger	542 km
Submarino (duplicado)	Tánger – Zahara de los Atunes	2 x 47 km
Tarifa - Córdoba	Zahara de los Atunes - Córdoba	274 km
Córdoba - Extremadura	Córdoba – Campo Maior	251 km

Fuente: Enagás, S.A.

8. Tecnología y desarrollo del gas natural



Rampa de tendido de la línea submarina
(Gas Natural SDG, S.A. – ENAGAS).



Colocación de los tubos y ejecución de la zanja
(Gas Natural SDG, S.A.-ENAGAS).



Tubos soldados y dispuestos a ser introducidos en la
zanja (Gas Natural SDG, S.A.-ENAGAS).

del suministro, aunque este se deba limitar a la mitad.

Otra parte importante fueron las operaciones de puesta en servicio del gasoducto. Como el calibrado de la tubería, es decir la comprobación que la tubería no presentaba deformaciones destacables.

Una vez efectuado este calibrado y reparadas las posibles anomalías encontradas, como deformaciones u obstrucciones, se procedió al secado de la tubería, y en cada sección se hizo mediante métodos distintos. Por ejemplo, en la sección marroquí se efectuó por aire seco; inyectando una corriente de aire seco durante 10 días, mientras en otros tramos podía ser el secado mediante líquidos higroscópicos. Una vez verificado que ninguno de los tramos podía contener vapor de agua o agua, en puntos bajos o intersticios de los equipos se efectuó la puesta en gas. Cada una de estas tres operaciones se hizo independientemente en cada sección.



Rampa de tendido de la línea submarina
(Gas Natural SDG, S.A. – ENAGAS).

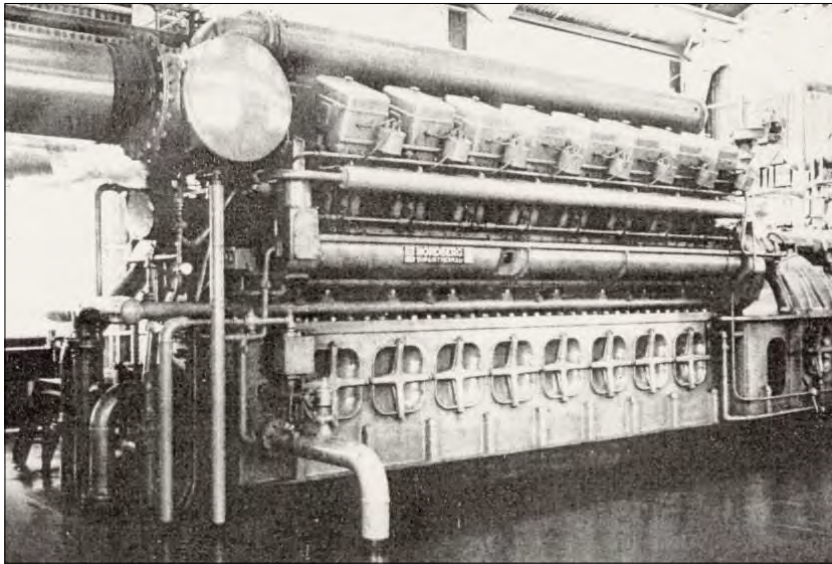
8.11. Estaciones de compresión y de regulación

El transporte de gas natural se efectúa normalmente, como se ha expuesto anteriormente, con canalizaciones y sometiendo el gas a una presión elevada. Pero la propia circulación de gas origina una pérdida de presión que se produce a lo largo de la canalización y representa una reducción de la velocidad en el desplazamiento del gas, por tanto debe volverse a aumentar esta presión, para continuar empujando el gas hacia su destino a la velocidad adecuada. Esta es la misión de las estaciones de compresión.

Se ha indicado que en Estados Unidos en el inicio del transporte a gran distancia, se colocaban estaciones de compresión cada 200 millas (320 km) pero a medida que la demanda aumentaba

y los caudales imprimían pérdidas de presión superiores a las previstas, se fueron adaptando e instalando estaciones cada 100 millas (160 km).

Las primeras estaciones de compresión en Europa occidental se instalaron a consecuencia de la explotación del yacimiento de Lacq en Francia, en la canalización de transporte del gas a París, Nantes y Lyon. En aquella red, la separación entre las mismas se encontraba entre 90 y 130 km, Para su diseño y colocación se tuvieron en cuenta dos factores que siguen presentes en cualquier diseño de un gasoducto. La pérdida de presión se consideró del orden del 30 % para cada 100 km de canalización y que al comprimir el gas se calienta y que el máximo de temperatura que podía alcanzar la canalización subterráneas eran 55°C a causa de la posible degradación de los materiales de revestimiento utilizados, ello representaba no sobrepasar la tasa de compresión en el valor de 1,7 en verano.



Un motor de pistón en una estación de compresión del gasoducto Tejas – Nueva York (Gaz d'Aujourd'hui, 1958: 179).

Cuadro 8.36. Las primeras estaciones de compresión en Europa

Estaciones	Tasa de compresión	Capacidad máxima	Unidades unitaria	Potencia
Langon y Chacelles	1,61	9 millones de m ³	5	2.000 CV
St. Benoit du Sault	1,34	8 millones de m ³	3	2.000 CV
Montluçon y Vindecy	1,30	4,2 millones de m ³	3	1.000 CV

Así pues, las estaciones de compresión situadas en los puntos intermedios de los gasoductos tienen la misión de aumentar la presión del gas, el gasoducto entra y sale de la misma y dentro, los equipos de válvulas de apertura y cierre, los filtros, los conductos de bay-pass y los refrigerantes, constituyen el equipamiento esencial.

En 1960 había dos tipos de compresores, los compresores de émbolo y los compresores centrífugos, que podían ser accionados con turbinas de gas o con motores eléctricos. Los compresores de émbolo eran equipos muy robustos, tenían mucha capacidad para su regulación y ajuste, y además proporcionaban un buen rendimiento. Convenían en caso de caudales variables. Los compresores centrífugos daban mejor rendimiento en casos de caudal más constante y tasas de compresión no muy elevadas. La tasa de compresión normalmente no sobrepasaba el valor de 1,6 en los de émbolo.

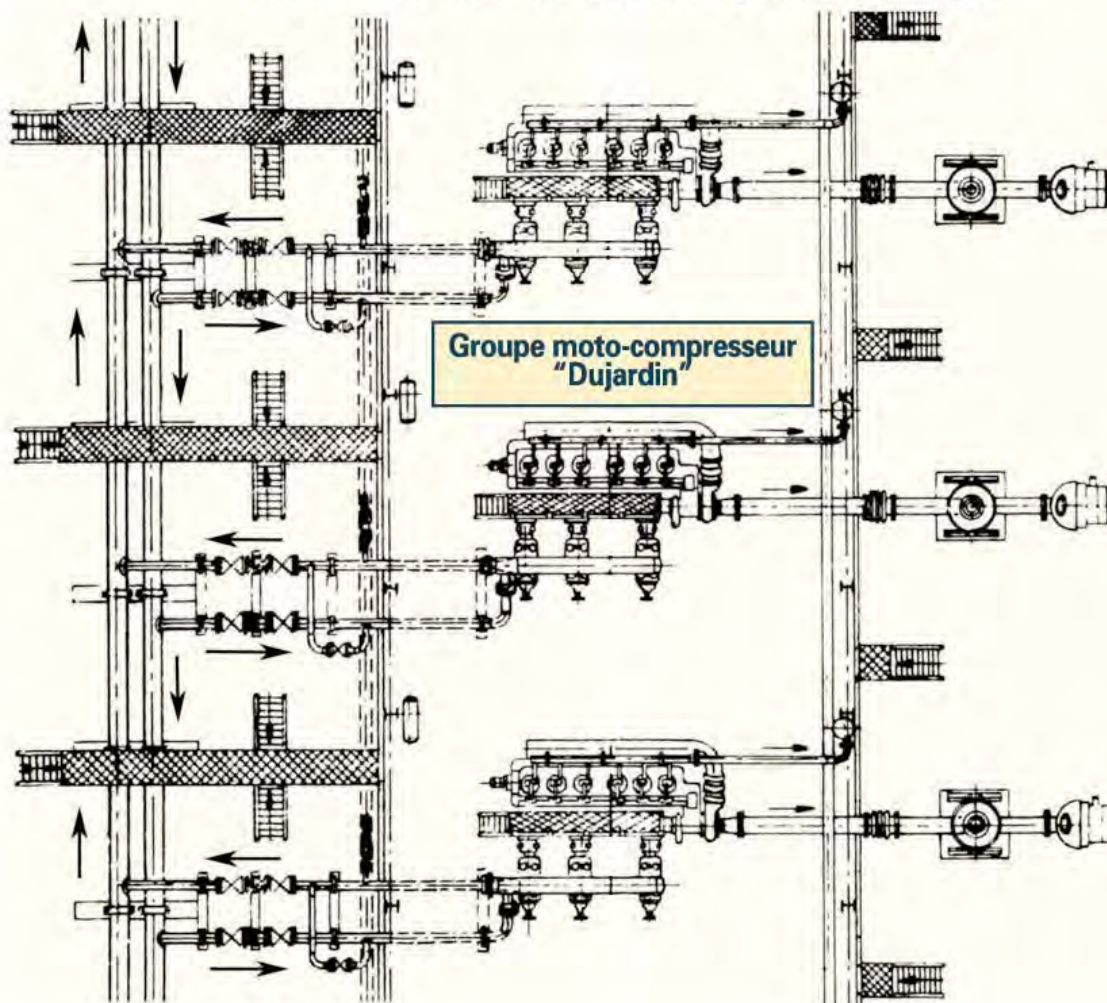
Los compresores de émbolo fueron los primeros que se utilizaron en Estados Unidos, donde se instalaron las primeras estaciones de compresión, la potencia de los mismos oscilaba entre 200 y 400 CV y funcionaban acoplados con motores de gas. En 1960 las potencias unitarias de los compresores ya llegaban a los 3.000 CV.

El otro tipo de compresores, los centrífugos, fueron utilizados posteriormente, y en 1960 podían llegar a alcanzar potencias de hasta 10.000 CV, sin embargo, sus características de funcionamiento hacían que cuando el caudal disminuía su rendimiento era inferior al de los compresores de émbolo. También los compresores centrífugos tenían un mayor desgaste de la parte interna, debido a que las pequeñas partículas que llevaría el gas hacían de abrasivo con la alta velocidad que se imprimía al compresor. Por este motivo las estaciones de compresión tienen antes de esta operación una fase de filtrado del gas.

La instalación de compresores en las estaciones del transporte de Lacq, efectuada entre 1958 y 1960, fue diseñada y construida con compresores de émbolo. Sin embargo este tipo de instalaciones ha sufrido variaciones, desde los años 1980 ya no se instalan compresores de émbolo y solo se instalan compresores centrífugos porque permiten el paso de caudales elevados con unas relaciones de compresión óptimas.

Pero además de los compresores, otros equipos tienen una función destacada en la estación. Antes de los compresores se colocan los filtros ciclónicos que preservan de impurezas, sólidas o líquidas, al gas que se va a comprimir y también la estación de

canalizaciones de entrada y salida del gas

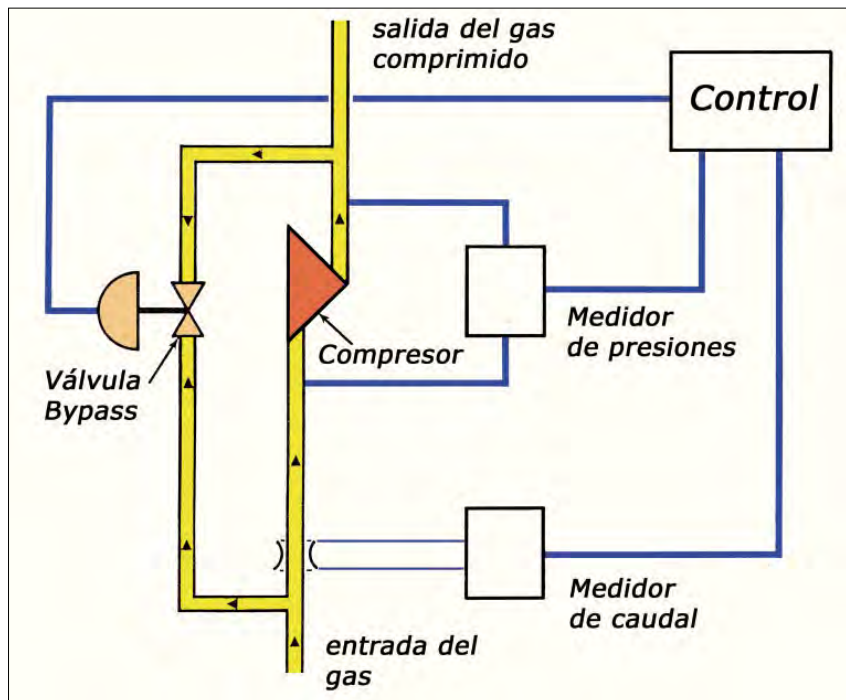


Detalle de la estación de compresión de Langdon (Francia), año 1960, equipada con compresores de embolo (Pichot, 1960: 22).

regulación y medida que suministra el gas natural que necesitan los turbo-compresores para funcionar. Después de los compresores se colocan los aero-refrigerantes cuya función es enfriar el gas comprimido antes de que prosiga su impulsión por el gasoducto. La experiencia ha considerado que un módulo de filtrado del gas es imprescindible para proteger los mecanismos de regulación de posibles actuaciones indebidas. Los filtros deben retener las partículas de diámetro superior a 5 micras.

Además de los equipos principales, la tecnología de control de una estación está vinculada con la presión que tiene el gas en el punto de llegada y la presión está relacionada con el caudal que circula por el gasoducto, por esta causa el funcionamiento de las estaciones es automático, y con el objeto de garantizar la emisión de gas natural, las estaciones tienen siempre una instalación de reserva para sustituir a la que queden fuera de servicio por cualquier causa.

En España, la estación de Tivissa, intercalada en el gasoducto de Barcelona a Valencia y en



Fuente: Enagás, S.A. y elaboración propia.

el de Barcelona a Bilbao, fue la primera que se puso en servicio en España. Era el año 1983. Los parámetros que definieron su necesidad fueron que el gas perdería su presión a lo largo del recorrido del gasoducto, pasando de 72 a 35 bar y que entonces se tenía que volver a situar a 72 bar. El caudal máximo era de 615.848 m³/h con una temperatura del gas de 50°C. La estación puede aspirar el gas desde cualquiera de las direcciones de los tres gasoductos que confluyen en Tivissa

e impulsarlo por cualquiera de las tres de la misma forma.

Con una previsión de hasta 5 equipos de compresión, inicialmente fue equipada con 2 turbocompresores que constan de dos partes: la motora compuesta de una turbina de gas, un motor diesel y un motor eléctrico que pueden accionar indistintamente la parte impulsora que está compuesta por un compresor centrífugo y un compresor de pistón.



Estación de compresión de Tivissa (Enagás, S.A.).

Durante el desarrollo del gas natural en España se han instalado varias estaciones de compresión. En el año 1999, después de la conexión del gasoducto del Magreb, estaban en funcionamiento 8 estaciones de compresión:

con caudales que oscilan entre un mínimo del 5% hasta el 100 % de la capacidad del regulador, y dentro de un intervalo de temperaturas que estaría comprendido entre -10 °C y 40 °C.

Cuadro 8.37. Estaciones de compresión españolas en 1999

Estación	Gasoducto	Unidades	Potencia de compresión de cada unidad
Tivissa	Barcelona-Valencia-Bilbao	3	3.800 CV
Banyeres-Arbós	Barcelona-Valencia-Bilbao	2	6.400 CV
Haro	Bilbao-Burgos- Madrid	3	4.500 CV
Sevilla	Huelva - Madrid	3	4.300 CV
Algete	Anillo Madrid	2	5.500 CV
Puertollano	Córdoba - Madrid	3	4.700 CV
Almendralejo	Córdoba -Badajoz	4	6.100 CV
Zamora	Ruta de la Plata	3	6.100 CV

Y actualmente ya se han incorporado al equipamiento peninsular cuatro estaciones más.

En la red de gas natural, además de las estaciones de compresión se colocan las estaciones de regulación. Estas tienen la misión de transformar la presión del gas de alta presión de 72 bar a media presión a 16 bar para la distribución. Lo más importante es que esta regulación debe hacerse con independencia del caudal que circule por la red, es decir, que la regulación debe funcionar

Con el criterio de poder suministrar el gas en cualquier situación, la regulación queda establecida siempre mediante una instalación principal y una instalación de reserva. Es interesante conocer que este equipo de reserva tiene una operativa muy automática y su entrada en funcionamiento por fallo del equipo principal es monitorizada mediante el control de los niveles de presión, es decir, la línea de reserva se pone a funcionar si la presión desciende a 15 bar y vuelve a parar si aquella sube a 16 bar.

Cuadro 8.38. Reguladores de presión para la distribución

Actuaciones	Línea principal	Línea de reserva
Presión de funcionamiento del regulador	16,0 bar	15,0 bar
Monitorización de aviso sobre presión	16,5 bar	15,5 bar
Umbral de funcionamiento de la válvula de seguridad	17,5 bar	18,0 bar

Fuente: García Bolós, 1988: 8. Nota: (1 bar = 1,01972 kg/cm²).

La expansión del gas, que se produce al pasar de alta presión a media presión, hace que el gas reduzca su temperatura. Un valor característico es de aproximadamente 0,45 °C por cada bar de reducción. Por ello, y para evitar que un gas salga del regulador a temperaturas bajo cero, después de su expansión, y pueda dar origen a fragilidad en las instalaciones por las que sigue circulando, o congelación de alguna parte de los circuitos secundarios, el gas se calienta antes de entrar en el regulador mediante un circuito de intercambio de calor con agua caliente a 80 °C suministrada por una caldera. El valor de referencia de la temperatura del gas para fijar la necesidad de calor se fija en que este no esté por encima de los 8 °C en todo el proceso y nunca por debajo de 2 °C.

8.12. Las plantas satélites

Cuando empezó la extracción y uso del gas natural, la tecnología del transporte de gases licuados era usual; el oxígeno, el hidrógeno y el nitrógeno y otros productos químicos ya se transportaban licuados por carretera o por ferrocarril con facilidad, y el gas natural entró también en esta dinámica.

Las plantas satélite tiene su origen en la necesidad de suministrar gas natural a núcleos de población o a grandes consumidores que se encuentran en lugares alejados de la red de gasoductos, y que una canalización para llegar a estos puntos no sería económica con la demanda existente. Estas plantas no están provistas de unidades de licuación y contienen uno o más depósitos de gas natural licuado con los cuales se suministra al consumo. La simplicidad de la planta queda manifiesta por los tres elementos principales: recepción, depósito de gas líquido y equipo de regasificación. Sus dimensiones eran pequeñas y el funcionamiento de emisión era automático.

Se conviene que la primera planta satélite se construyó en 1963 en Canadá por la *Squamish Gas Co.* para suministrar gas a la población de Squamish, situada en British Columbia. El transporte se efectuaba por camiones desde la terminal de Vancouver. Así pues, los primeros transportes de gas natural licuado mediante camiones cisterna se hicieron, con depósitos de hasta 30.000 galones americanos (114 m³), por ello cuando se empezó a efectuar en Europa este tipo de transporte, su implantación no tuvo problemas técnicos a resolver. (Gas natural, nº 19, junio 1970)

Los primeros transportes europeos se efectuaron en Gran Bretaña con depósitos de 7.500 galones (34 m³) desde la terminal de Canvey Island y se hizo con recorridos menores de 100 millas (160 km) porque con mayores distancias la evaporación del gas licuado en el depósito podía provocar una sobre presión no deseada y que además podía ser peligrosa (Clark, 1967: 13).

Los camiones cisterna que transportan el gas licuado están constituidos usualmente por un recipiente cilíndrico de acero inoxidable preparado para poder soportar una temperatura de -160 °C y una presión de hasta 8 kg/cm², a este recipiente lo envuelve un revestimiento externo de poliuretano como aislante y el conjunto tiene otro revestimiento de plancha de aluminio como acabado exterior. También el aislamiento interno puede ser el vacío con la perlita y en este caso el revestimiento exterior debe ser acero al carbono para mantener la total estanqueidad del vacío. La cisterna no dispone de refrigeración, de forma que el gas natural licuado dentro de la cisterna puede evaporarse a causa de la temperatura ambiente, pero esta evaporación absorbe calor del líquido y favorece que este se enfríe y permanezca a la temperatura de -160 °C, no obstante, siempre existe una evaporación interna del gas y el aislamiento se diseña para limitar esta evaporación del gas al

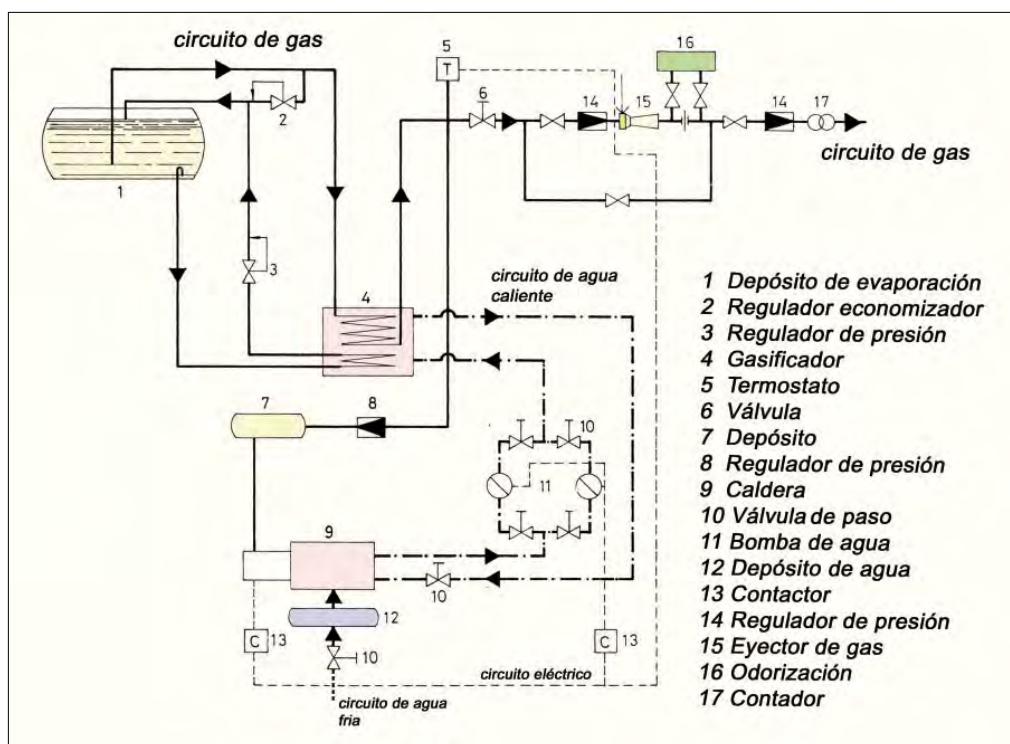
0,2% de la capacidad de la cisterna y para que el gas evaporado solo ejerza una presión limitada dentro del depósito, lo mismo sucedía en los depósitos de GNL de buques (Sabaté, 1971: 25).

También igual que en los buques, la seguridad de explotación ha dispuesto que los tanques de gas licuado se llenen antes con nitrógeno para eliminar todo resto de aire u oxígeno y evitar la existencia de humedad interior. Con ello se evitan las mezclas explosivas y también la formación de hielo.

Para mantener líquido el gas natural a presiones relativamente bajas, su temperatura debe ser

del orden de los -160°C , aunque con mayor presión en el tanque, la temperatura puede ser mayor hasta -140°C . Aparte del depósito, los elementos principales eran el regasificador y el intercambiador de calor.

La primera planta satélite de regasificación de España se construyó en Figueres, en los terrenos que ocupaba la antigua fábrica de gas. Se ponía en servicio en septiembre de 1970 y actualmente aún sigue en funcionamiento aunque ha cambiado su ubicación. Su capacidad era de $1.500\text{ m}^3/\text{h}$ con gas de emisión de $13.100\text{ kcal}/\text{m}^3$. La planta consistía en un depósito de almacenamiento de 120 m^3 con capacidad máxima para contener 114 m^3 de



Esquema de funcionamiento de una estación satélite de regasificación (Roca, 1973: 7).

gas natural licuado. El depósito estaba colocado en el interior de una cubeta contra derrames de una capacidad (Enciclopedia Oilgas 1975). En 1976 quedaba inaugurada una nueva planta en Figueres, de las mismas características. También en Mataró se puso en marcha en la misma época otra planta satélite de gas natural licuado. Con un depósito de 60 m³ y una capacidad de regasificación de 2.500 m³/h. (SEDIGAS).

En marzo de 1971 entraba en servicio una nueva planta en Castellar del Vallès, de mayor capacidad que la de Figueres, para alimentar a la industria existente en el polígono industrial de la población.

De esta forma se fueron construyendo en diferentes poblaciones de España plantas satélites de GNL para abastecer al consumo local.



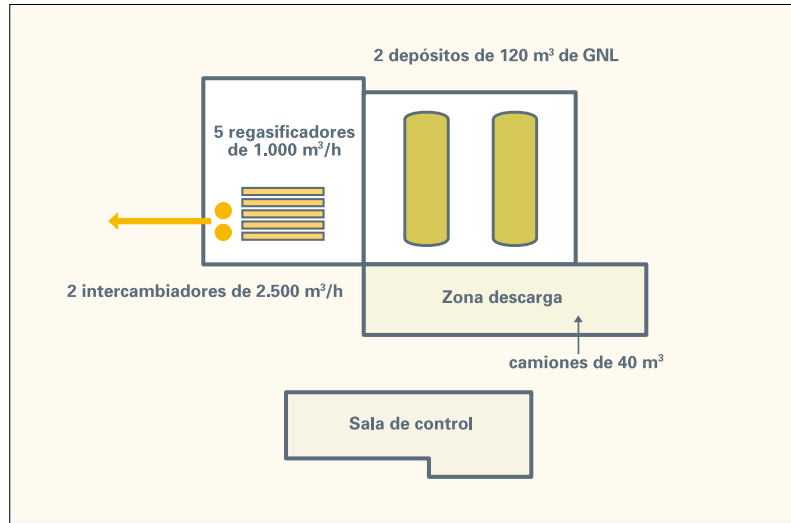
Planta de gas natural licuado de Figueres (Bernils, 1977: 203).

Cuadro 8.39. Plantas satélites para la distribución, instaladas en España entre 1970 y 1985

Población	Capacidad en GNL (m ³)	Uso del gas natural	Año
Figueres	120 x 2 + 60	Distribución de gas natural	1970
Mataró	60	Distribución de gas natural	1970
Zaragoza	60	Recarburación del gas ciudad	1972
Sant Feliu de Guíxols	40 + 60	Aire metanado	1977
Tarragona	60	Aire metanado	1977
Manresa	2 x 120	Aire metanado y materia prima en planta gas ciudad	1981
Vic	2 x 60	Aire metanado	982

Fuente: SEDIGAS.

8. Tecnología y desarrollo del gas natural



Esquema de la planta de satélite de 5.000 m³/h Manresa, 1985
(Cambronero, 1982:7).



Regasificador de GNL por agua caliente (SEDIGAS).



Planta satélite de gas natural licuado situada en Puigcerdà. Se pueden observar los depósitos y los intercambiadores de calor gas-aire. Estos en su primer tramo han congelado la humedad ambiental a causa de la extrema temperatura del gas licuado que circula por su interior para ser calentado hasta la temperatura ambiente. (Gas Natural S.D.G.).



9. Estructuras de difusión y control del gas natural

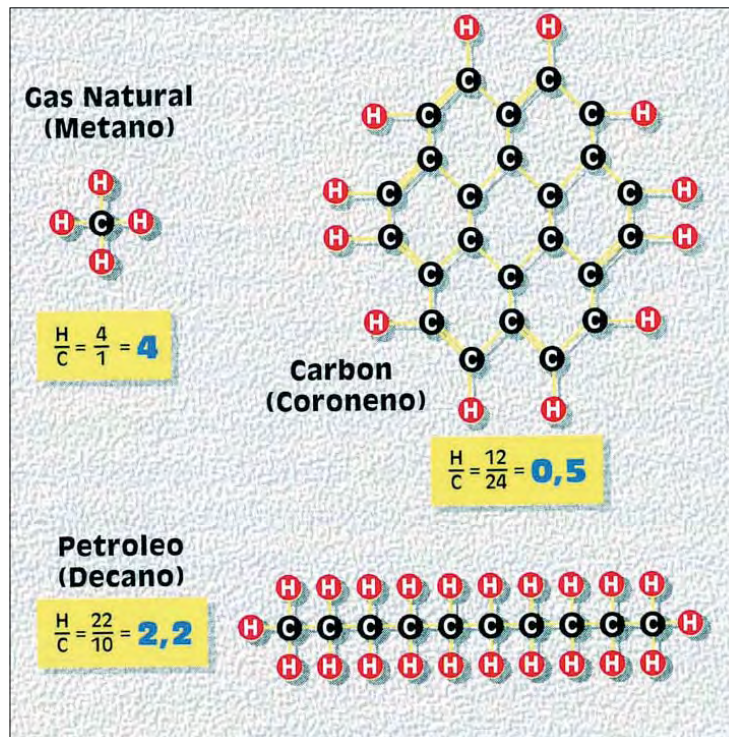
9.1. El gas natural como combustible

Fue en la exposición Centennial Exhibition of Philadelphia de 1876, donde se considera se empezó a difundir en los Estados Unidos el gas natural para los usos domésticos, especialmente en la cocción de alimentos. Tratado como si fuera otro de los inventos o materiales que se presentaban en la exposición, el gas, al igual que el teléfono de Graham Bell no pasaron desapercibidos por los visitantes, pero hubo que esperar bastantes años para que su uso fuera aceptado como cotidiano, aunque el desarrollo del uso del gas natural en aquel país ha sido muy importante.

En España la utilización del gas natural viene efectuándose desde 1969 con la adopción de este gas en sustitución del gas manufacturado que venía produciéndose desde 1842 con métodos que de vez en cuando iban siendo renovados, primero con la destilación de la hulla y sus distintas facetas, y más de cien años después, con el reformado de componentes petrolíferos. De una red de pequeña extensión, limitada a las ciudades, que transportaba el gas a una presión muy baja, la que proporcionaba el peso de los gasómetros, se pasó, con el gas natural, a una red muy amplia, casi sin límites y adaptada para los usos que se han ido incorporando a lo largo de estos años.

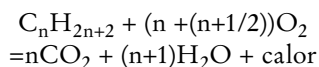
En Europa, la adopción del gas natural como combustible, surgió mucho antes que en España, primero con la explotación de los yacimientos del valle del Po en Italia, luego con el aprovechamiento de los yacimientos de Sain Marcet y Lacq en Francia, pero fue el yacimiento de Slochteren, en Holanda, el que marcó una inflexión importantísima en el desarrollo del gas natural en Europa. El gas natural, a causa de su mayor poder calorífico y la ausencia de sustancias contaminantes, ha permitido considerarlo como el combustible idóneo para cualquier utilización energética de aportación de calor por combustión. El desarrollo espectacular del empleo de este tipo de gas, similar al que tuvieron los gases licuados del petróleo en los años sesenta, ha eclipsado casi por completo la fabricación de gas ciudad y ha permitido una nueva gasificación de Europa y por supuesto de España.

El metano, principal componente del gas natural, presenta una relación molecular entre sus componentes, el carbono y el hidrógeno, de forma que su combustión produce la menor emisión de CO_2 de todos los combustibles fósiles.

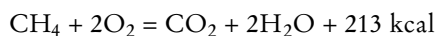


(EUROGAS, 1993: 7).

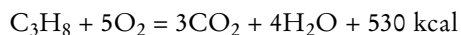
Esta afirmación queda puesta de manifiesto también con observar la formulación que acompaña la reacción química de combustión completa de los hidrocarburos.



Con el metano (n=1) el resultado sería:



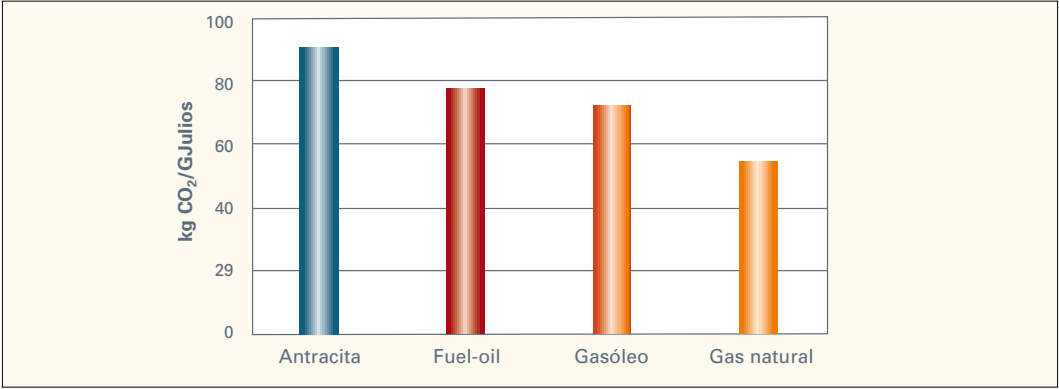
En el caso del propano (n=3) el resultado sería:



Así pues, a igualdad de energía producida, la combustión de gas natural representa aproximadamente un 30% menos de CO₂ que con la combustión del petróleo y un 40 % menos que con la combustión del carbón antracita, tal como refleja la gráfica que sigue.

Bajo este criterio es también por lo que se ha extendido el uso del gas natural como combustible.

Gráfico 9.1. Emisión de CO₂ en la combustión



Además de utilizarse en estado puro, el gas natural se ha utilizado, en los inicios de su distribución, mezclado con aire para tener un poder calorífico más bajo y cercano al del gas manufacturado utilizado. Cuando aún funcionaban las fábricas de gas manufacturado, el gas natural se adicionaba al gas manufacturado para elevar su poder calorífico. También se ha utilizado como materia prima en columnas de reformado catalítico

para obtener gas de síntesis de menor poder calorífico.

La utilización del gas natural de forma directa ha sido no obstante la mejor opción que, como se ha indicado anteriormente, ya se introdujo en siglo XIX en Estados Unidos y desde los años cincuenta en Europa. Un combustible con mejores propiedades que el gas manufacturado.

Cuadro 9.1. CO₂ emitido en la combustión por unidad de energía producida

	Gas ciudad	Gas natural (Slochteren)	Gas propano
Poder calorífico Superior (kcal/m ³)	4.770	8.400	23.600
Densidad relativa (aire = 1)	0,5	0,64	1,52
Nº de Wobbe (kcal/m ³)	6.750	10.500	9.200
Velocidad máxima de llama (m/s)	1	0,3	0,37
Aire requerido para la combustión (volumen aire/volumen gas)	4,7	8,4	3,8
Límite de inflamabilidad (% de volumen gas en aire)	5 – 35	6 - 17	2 - 10

Fuente: Shell, 1983: 14.

En España ya se ha citado que la empresa *Catalana de Gas y Electricidad* fue pionera en el desarrollo de la distribución de gas natural desde su planta de Barcelona. Desde Barcelona una primera red de gasoductos fue avanzando hasta localidades o áreas de desarrollo urbano donde no existía ninguna distribución de gas, y también localidades que tenían fábrica con distribución de gas manufacturado. Antes de cualquier cambio en el tipo de gas emitido fue importante conocer la situación de la red interior y las garantías de suministro que ofrecía ante la posible introducción del gas natural. La sustitución del gas manufacturado solo era cuestión de tiempo y de adaptación de todos los equipos conectados a la red de gas. Evidentemente introducir gas natural en una red que utilizaba gas manufacturado no era posible sin antes analizar y cambiar los equipos de combustión, la causa era el mayor poder calorífico del gas natural y el mal comportamiento que tendrían los quemadores utilizados para gas manufacturado funcionando con gas natural.

Como se ha indicado, el gas natural suministrado en estado puro, sin mezclas, empezó alimentando las industrias de Barcelona y de su entorno inmediato. El cambio de tipología del gas utilizado por los consumidores residenciales de gas ciudad se empezó a efectuar en una parte de Barcelona, Sabadell, Terrassa y la comarca del Maresme en el año 1972. El cambio tuvo una parada en el año 1973 y después de un largo período se reanudó en diversas poblaciones, y se continuó en el centro de Barcelona en los años 1987 y 1988. En 1989 y 1990 dejaban de funcionar las fábricas de gas de Barceloneta y San Martín respectivamente, eran las últimas de las muchas que había en Cataluña que fueron cerrando para dar paso al gas natural. En febrero de 1996 hacía lo mismo la fábrica de gas de Manoteras, en Madrid, en funcionamiento desde 1967 (Gas Madrid, 1996:59), no fue la última fábrica de gas española que estuvo en funcionamiento, quedaba la fábrica de gas de Palma de Mallorca que desde 1988 también distribuía aire propanado. Desde 1996 el gas natural ha ido extendiéndose por toda la península dejando para la historia las fábricas de gas que había en diversas ciudades.

Cuadro 9.2. Gas de emisión en Barcelona en 1974

Compuesto	Porcentaje en volumen
Metano	78,04 %
Etano	21,55 %
Propano	0,20 %
Butano	0,02 %
Nitrógeno	0,19 %
Poder calorífico superior	10.976 kcal/m ³
Índice de Wobbe	13.550 kcal/m ³
Densidad relativa	0,6563

Fuente: OILGAS, 1975: 350.

9.1.1. La odorización del gas

El olor ha sido, y sigue siendo, la forma más utilizada para detectar la presencia de gas en el ambiente. Sin embargo el olor es una sensación subjetiva y no se puede establecer una medida fija del umbral de captación. Mientras que los gases manufacturados tenían su olor característico, detectable fácilmente y no se necesitaba remarcar más su presencia, no sucede lo mismo con el gas natural, con un componente prioritario, el metano, que no tiene ningún olor.

Cuando se fabrica gas se tienen en cuenta unos valores que se refieren al porcentaje de CO a partir del cual el gas debe de ser percibido. Hace muchos años, este porcentaje oscilaba entre 0,004% en las Normas Inglesas y el 0,04% en las Normas Francesas e Italianas, porque el umbral de toxicidad era precisamente del 0,04%. Las Normas Inglesas se tomaban un coeficiente de seguridad de 10 y por ello el gas inglés tenía mayor poder de captación del olor. Estos datos solo se han introducido para que se observe el interés en la detección del

olor a gas. Ello representa que se debe detectar la presencia de gas antes que la concentración de CO sea peligrosa.

Por ejemplo, a mediados de los años 1960 se hicieron en Barcelona unas pruebas con distintos gases para tener una referencia de la capacidad de captación del olor a gas.

Ello representaba que antes se detectaba la presencia de gas que la concentración de CO (era) peligrosa.

Cuando un gas natural tiene presencia de impurezas que tengan olor propio, entonces el gas presenta algún olor característico, como sucede con el gas de Lacq que posee un alto porcentaje de SH₂ suficiente para detectar su presencia.

La odorización del gas natural se empezó a efectuar en los Estados Unidos, pero su necesidad fue puesta de manifiesto después de un accidente ocurrido en marzo de 1937 en el que murieron unas 300 personas, cuando una escuela de New London (Texas), que utilizaba gas natural excedentario de una compañía petrolera cercana, sin odorizar,

Cuadro 9.3. Pruebas de odorización efectuadas en 1960 en Barcelona para distintos gases manufacturados

	Umbral de percepción por el olfato. Porcentaje de gas en en el aire	Porcentaje de CO correspondiente al % de gas en el aire
Gas de cracking	0,8 %	0,10 %
Gas de emisión recarburado con nafta desulfurada	0,6 %	0,075 %
Gas distribuido en Sabadell	1,5 %	0,19 %
Gas distribuido en Premià	1,3 %	0,16 %
Gas distribuido en Mataró	2,4 %	0,3 %

Fuente: AHFGNE, 1969: 1.

sufrió una explosión por el gas acumulado en alguna de las estancias del edificio y que no pudo ser detectado por el olor. Desde aquel momento se estableció que la odorización era imprescindible en todas las distribuciones de gas natural y que el umbral de detección del gas natural por el olor fuera inferior a una concentración peligrosa del propio gas.

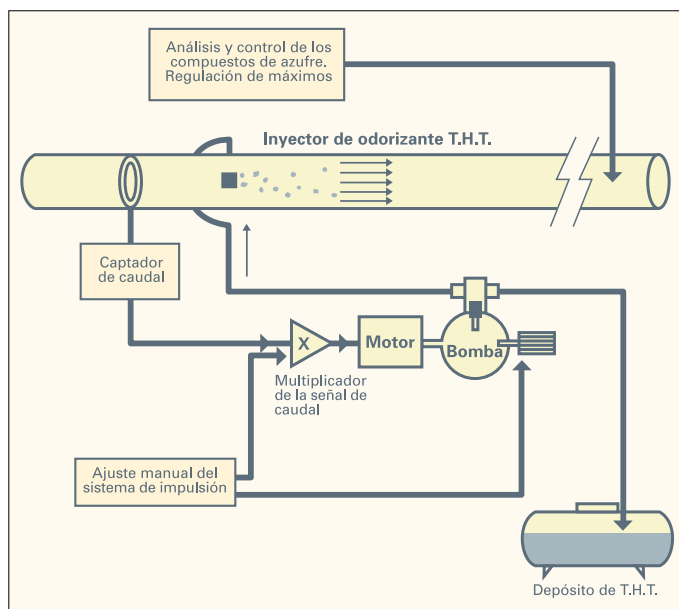
Así pues se estableció que los odorizantes tuvieran un olor característico, inconfundible con otros olores usuales o residuales en las cocinas, que fuera potente, desagradable, pero no tóxico y también persistente.

Desde el punto de vista industrial debía ser estable y no reactivo con los elementos que componían la red de gas y que tuviera una combustión completa, sin liberar otros productos tóxicos, agresivos o de mal olor. En 1965 se celebraba en Estados Unidos la “Odorización Conference and Exhibition”, el primer congreso que trataba esta práctica y estudiaba todo lo concerniente a la misma, lo que testifica la importancia de esta operación (*Pipeline & Gas Journal*, november 2006: 50).

Así pues quedaría establecido que la detección del gas natural era tan imprescindible como su suministro. El olor desagradable se mantendría pese al cambio de gas de hulla a gas natural. Lo que importaba mantener era la seguridad pasiva, mientras que la seguridad activa era que el odorizante fuese químicamente estable y no corrosivo, con una combustión completa en los quemadores.

El producto escogido inicialmente fueron los mercaptanos (también conocidos como tioles), compuestos químicos derivados del petróleo que contienen azufre y que desprenden un fuerte y desagradable olor, se consideraron seguros para detectar la presencia del gas y además cumplían casi con las condiciones expuestas anteriormente, pero tenían el inconveniente de ser inestables y fácilmente oxidables (ATG, 1985-87: IV-41).

Con el tiempo, aunque el mercaptano se sigue utilizando en varios países, se ha introducido el tetrahidrotiofeno (T.H.T.), un compuesto orgánico líquido, que aunque es tóxico también es muy estable químicamente y mantiene sus propiedades. Su densidad es igual a la del agua pero es insoluble en esta y tiene un porcentaje de azufre del 36%.



Esquema de funcionamiento de la odorización
(ATG, 1990: 567).

La odorización es siempre una operación final que se efectúa en la parte de la emisión del gas hacia la distribución, emisión que depende de la demanda de los usuarios, en un mayor o menor caudal a la salida. Esta operación debe proporcionar siempre el mismo porcentaje de material odorizante al gas, y por tanto adaptarse al diferente caudal de salida por lo que se incorporan los mecanismos necesarios para poder cumplir con esta premisa.

En los años de conversión de la red y adaptación al gas natural la odorización fue un gran aliado para la detección de fugas del nuevo gas, incluso la dosis del componente era aumentada expresamente para una detección precoz de las fugas. Actualmente su control es importante para no exceder de los límites superior o inferior, conociendo que una odorización menor representa un riesgo de detección y una odorización mayor puede representar introducir una mayor cantidad de compuestos ajenos al gas natural que afecten a procesos industriales que utilizan, por ejemplo, catalizadores.

9.1.2. Combustión y quemadores

La combustión es una reacción química exotérmica, es decir, con liberación de calor, en la que el oxígeno ejerce toda su influencia para oxidar los componentes del combustible y originándose otros componentes, de los cuales los más comunes son el anhídrido carbónico y el agua.

Aunque ya se han descrito anteriormente los quemadores utilizados para el uso del gas de hulla o el gas ciudad, su tecnología se ha

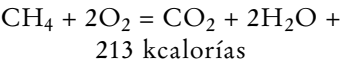
desarrollado ampliamente con la utilización del gas natural, por ello dedicamos en este capítulo unas líneas para considerar, no tanto la evolución que han tenido en los últimos años, que en esencia no ha sido muy amplia, sino en los principios en que se basa su diseño. La misión del quemador ha sido siempre la de graduar los caudales de aire y gas que constituyen la mezcla combustible, para que se realice una combustión completa. Hace falta indicar que aunque se habla siempre de aire, en realidad lo que permite que el gas natural sea combustible es el oxígeno, pues el nitrógeno, como ya se ha indicado en otras ocasiones, es un gas inerte que no contribuye en nada a la combustión. Es más, hemos visto como se incorpora, a veces, en los depósitos de gas licuado para obtener una atmósfera inerte.

Si la combustión se produce con menor proporción del aire necesario, el combustible no se quema del todo y en los humos hay presencia de combustible, como el carbono (que se destaca por el hollín) o monóxido de carbono. Si hay mayor proporción de aire necesario, el combustible puede no llegar a quemar. No todas las mezclas entre el aire y el combustible son idóneas para establecer una combustión. La tabla siguiente muestra las condiciones necesarias para que se quemen los gases convencionales, lo que implica que, por ejemplo, los quemadores de gas de gasógeno tienen mayor margen en la regulación del aire que los de los gases metano, propano o butano. Ello es debido a que el gas de gasógeno tiene una mayor proporción de monóxido de carbono, que no tiene el resto de gases.

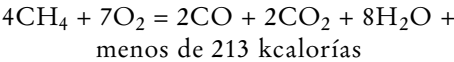
Cuadro 9.4. Condiciones necesarias para la combustión de gases

Tipos de gas	Límite de inflamabilidad en el aire		m³ de aire para quemar 1 m³ de gas
	% inferior de gas%	% superior de gas	
Gas de gasógeno	16	64	3,5
Gas natural (Metano)	5	15	9,3
Gas Propano	2	10	23,9
Gas Butano	2	9	31

En el caso del metano puro, la combustión completa o también denominada “higiénica” se expresa con la siguiente expresión química:



Si la combustión es incompleta, o “no higiénica”, porque se produce monóxido de carbono, que es tóxico, es:



Bajo este principio, ya se puede suponer que los quemadores de gas buscan utilizar todo el poder calorífico del gas combustible y por tanto una de sus funciones principales es obtener una combustión completa, regulando la entrada del combustible y del aire, y además dando forma a la llama que se origina.

Si con el gas manufacturado, las aplicaciones mas utilizadas fueron las cocinas, calentadores y estufas domésticas, con el gas natural estas aplicaciones se han extendido hacia la industria multiplicándose el uso de quemadores de diferentes características.

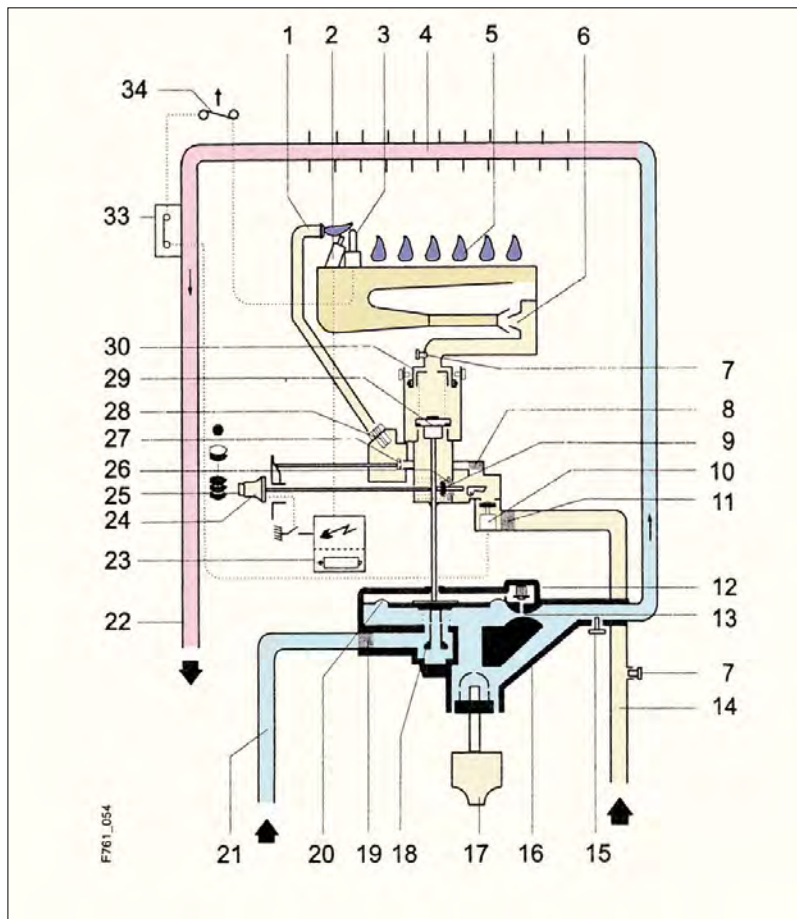
La investigación en el campo de la combustión se ha enfocado: hacia el mayor rendimiento energético logrado por los quemadores; en la

forma de controlar los flujos de combustible y aire y; en la reducción de las emisiones de componentes residuales de la combustión. En los quemadores industriales de hornos, también se tiene como parámetro el tipo de atmósfera del interior del hormo, si es oxidante, es decir presencia importante de oxígeno activo, o reductora, ausencia de oxígeno activo.

En un quemador las principales características que presenta son, el flujo de aire primario y aire secundario, y el posicionamiento de la llama. En el caso, por ejemplo, de un calentador doméstico, el orificio de salida del gas (6) se encuentra dentro del quemador con una tobera para poder aspirar el aire necesario para la combustión. El caudal de gas queda regulado por el mecanismo (18) que acciona la válvula del gas (29).

En los calentadores de gas la evolución principal en este campo ha sido que se han desarrollado quemadores que, con independencia de aumentar el rendimiento calorífico, reducen las emisiones de los óxidos de nitrógeno presentes en los gases de combustión

En los hornos industriales se presentan una gran variedad de tipos, que varían según la tecnología a la que se aplican: hornos de vidrio, hornos de cerámica, hornos de guión de metales, hornos de tratamiento térmico de metales, hornos de

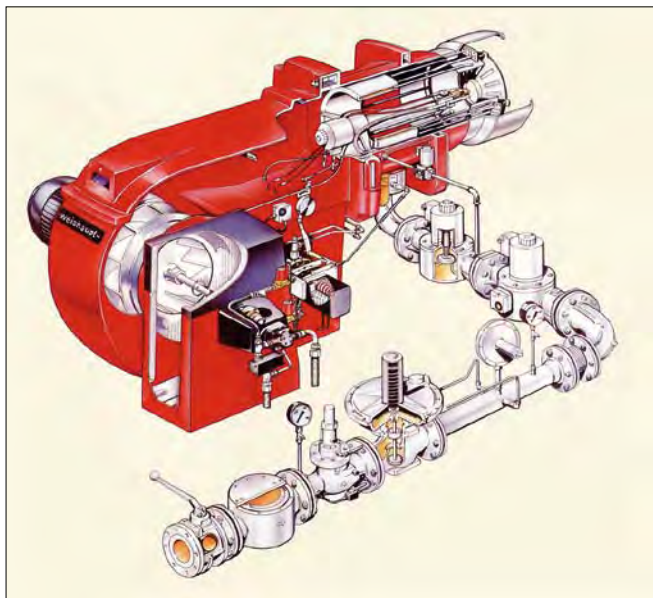


Esquema de un calentador de gas (SEDIGAS).

calentamiento o cocción de productos alimenticios, y calderas de vapor. En todos ellos se han desarrollado los quemadores específicos para satisfacer el sistema de control de la llama y la transferencia del calor del quemador hacia el proceso, con materiales adecuados para soportar las altas temperaturas.

En los quemadores industriales, la principal característica de los mismos se ha enfocado

hacia lo que se ha denominado el equipo de combustión que fija las condiciones de la combustión y corresponde principalmente al ventilador y al regulador de presión y el sistema de inyección de gas, que en conjunto han de procurar una llama adecuada a las necesidades del material a tratar y recinto donde se ubica.



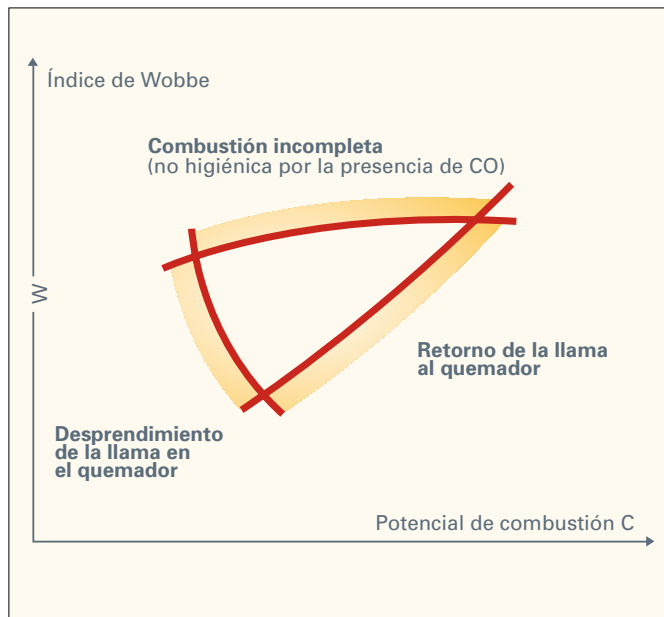
Equipo de combustión de una caldera de vapor
(ENAGAS, 1990: 28).

9.1.3. La conversión de gas ciudad a gas natural

La conversión de un tipo de gas a otro tipo de gas ha sido una operación importante dentro del desarrollo del uso del gas, por ello es necesario introducirlo en un estudio que explica todo el cambio tecnológico impulsado por los distintos gases que se han utilizado.

La conversión a gas natural no fue una tarea sencilla. Cada gas, como ya se ha comentado en el capítulo 5 tiene sus características y aunque todos los gases son mezclables, su uso para ser quemados lleva forzosamente a considerar el quemador como un elemento estrechamente

unido al gas que utiliza. Cualquier cambio de gas tiene una respuesta distinta en el quemador y puede ser inadecuada. Con esta referencia se estudió el cambio entre ambos gases.



Curva que expresa la respuesta de un quemador ante la incorporación de distintos gases definidos por su potencial de combustión y su índice de Wobbe
(Delbourg et Lafon, 1972: 25).

Para hablar de conversión fue forzoso acudir a los índices que calificaban los gases combustibles, índices que se referían a la idoneidad de los gases combustibles que se utilizarían y su relación con el funcionamiento de los quemadores.

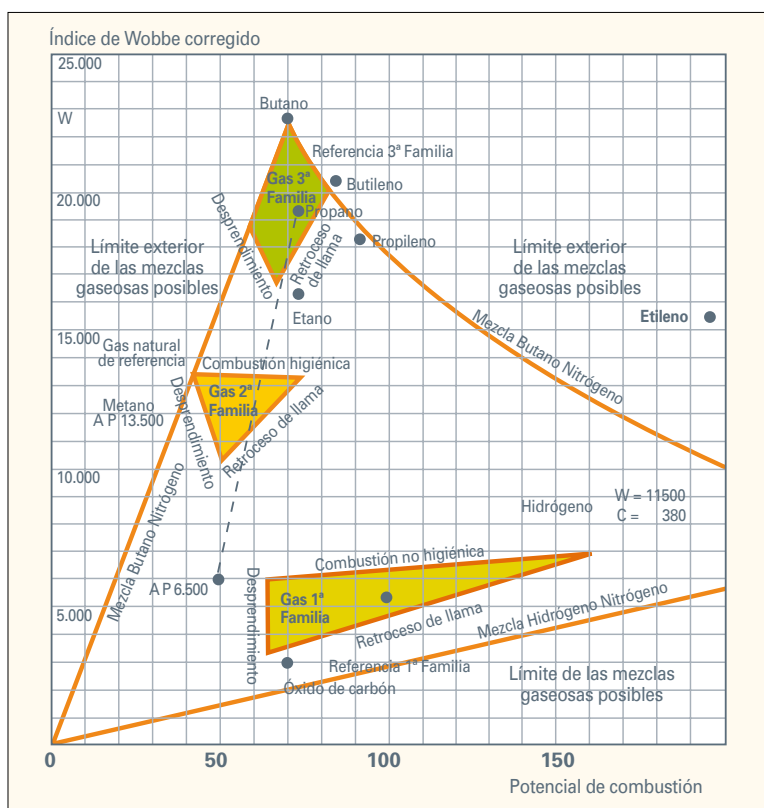
Se admite, desde los años sesenta, que la característica de combustión de cualquier gas combustible se puede caracterizar por el índice de Wobbe. Este índice es uno de los muchos que se empezaron a considerar en los años cincuenta cuando se empezó a estudiar la

9. Estructuras de difusión y control del gas natural

intercambiabilidad de los gases, y en Europa se ha consolidado su uso para trabajar este proceso. El índice marca la compatibilidad entre dos gases al utilizar un mismo quemador en el que la entrada de gas es controlada normalmente por un inyector y la velocidad del gas que sale del mismo es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la densidad relativa (ϑ). Viene a considerar que para un buen funcionamiento de un quemador lo más importante es el calor que se le aporta y este es función del poder calorífico superior y también de la velocidad de salida del

gas, función de su densidad, por tanto el índice viene a clasificar tipos de gases equivalentes que se han agrupado por familias.

El gas natural tiene un poder calorífico el doble o más que el gas ciudad, por ello en un mismo quemador no funciona bien y se necesita cambiar todos los inyectores de los quemadores de gas pre-existentes. También hay mucha diferencia entre la velocidad de quemado de un gas ciudad, que contiene un porcentaje destacado de hidrógeno y del gas natural que solo contiene metano. La conversión debía suministrar al quemador la



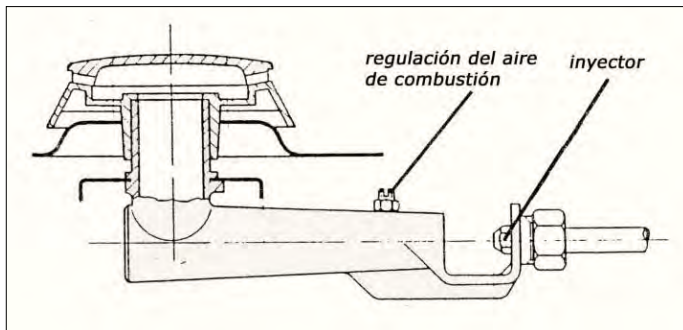
La gráfica sitúa varios tipos de gas agrupados por familias donde se observa, por ejemplo, que un quemador funcionando con gas manufacturado (1ª familia) no puede ser compatible con un quemador de gas natural (2ª familia) (SEDIGAS, 2004: 75).

misma cantidad de calor por unidad de tiempo y dar a la llama el mismo tamaño y forma que la que se formaba anteriormente.

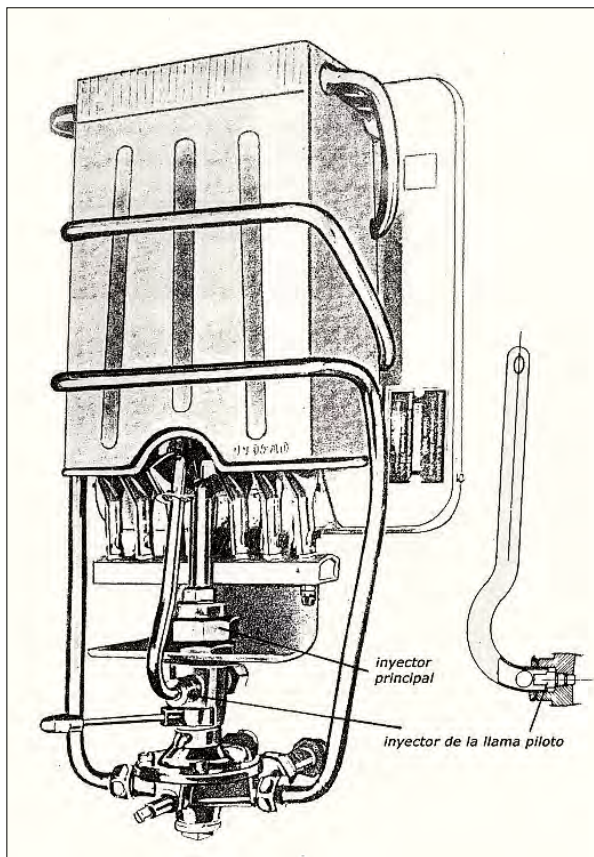
Es decir, si el gas natural utilizara un quemador existente diseñado para el gas ciudad con la misma presión, el gas natural aspiraría la misma cantidad de aire que anteriormente utilizaba el gas ciudad, y puesto que las necesidades de aire del gas natural son dos veces mayores, este no se quemaría completamente, pero daría una llama grande, floja, ahumada que depositaría el hollín sobre los accesorios de cocina. Por esta causa, lo primero a efectuar antes de la conversión del gas ciudad a gas natural fue la modificación del quemador para que saliera por el inyector la cantidad de gas necesaria y para mezclar la proporción correcta de aire con el nuevo gas.

Uno de los primeros países en ponerse a efectuar la conversión del gas ciudad al gas natural fue Inglaterra (Elliot, 1980: 11). En el proceso que se hizo se trabajó para modificar la relación entre aire de entrada y el combustible, esta sería una de las premisas básicas en la conversión de la red de gas ciudad en gas natural. La otra sería que debía modificarse, en el caso de un quemador antiguo, el caudal de gas para obtener la misma

potencia calorífica. Porque el gas natural tiene más del doble de poder calorífico que el gas ciudad. Pero estas dos premisas no solucionaban todos los problemas de la conversión y debió considerarse otra actuación. La razón por la cual una llama se propaga por una mezcla de gas y aire depende de la naturaleza del gas. El gas natural tiene una velocidad de llama más pequeña que el gas ciudad, aproximadamente un tercio. Esto significa que si no se hacen ajustes, la llama



Quemador de cocina. Puntos de regulación de la combustión en la operación de conversión (Catalana de Gas).



Caldera de gas con los dos inyectores que debían cambiarse con el cambio de gas manufacturado a gas natural (Catalana de Gas).

tenderá a desprenderse del quemador, dejando un hueco entre este y la base de la llama, lo que puede ocasionar que la llama se extinga. Para prevenir esto, es necesario reformar el inyector y la entrada de aire del quemador.

La introducción de gas natural en España, y en otros países, puso de manifiesto las diferencias significativas de las cualidades de los dos gases, ello junto con el conocimiento de la red existente y el tipo de usuarios consolidados, encauzó la situación hacia

Las tres primeras no influían en la estructura de la distribución. El aire metanado ya hemos visto que era gas natural mezclado con aire y por ello la elevación del poder calorífico y su posición dentro de la intercambiabilidad era adecuada. El cambio no tenía incidencia en las características de la red, en los aparatos de control y medida y en los quemadores.

Pero tanto, en la tercera posibilidad como en la cuarta, la fabrica de gas existente dejaba de funcionar y quedaba en desuso para su

Pasos posibles en la introducción del gas natural en el mercado energético de una zona
1. Mantener la fábrica de gas y enriquecer el gas resultante con gas natural.
2. Mantener la planta de reformado catalítico y utilizar el gas natural como materia prima.
3. Desestimar la fábrica de gas y distribuir una mezcla de gas natural mezclado con aire.
4. Desestimar la fábrica de gas y distribuir directamente gas natural en estado puro.

una o más de estas cuatro posibilidades, cada una de las cuales permitía cubrir las necesidades de mayor demanda con una tecnología u otra.

posterior desmontaje. No obstante con la distribución de aire metanado, si hacía falta en caso de necesidad, por falta de suministro de gas natural o por cualquier otra causa.

Cuadro 9.5. El cambio de gas manufacturado a gas natural

Gas natural modificado (con mezcla de aire)	Gas natural
Sin aumento significativo del poder calorifico respecto al gas manufacturado.	Aumento del poder calorífico del gas suministrado.
Presión de distribución sin necesidad de cambios.	Presión de distribución mayor.
La capacidad de distribución queda prácticamente igual.	Aumento muy importante de la capacidad de distribución.
La red de gas requiere cambios con el nuevo gas.	Red de gas totalmente nueva.
Los aparatos de combustión necesitan cambios.	Los aparatos de combustión necesitan cambios.

En España ya se ha citado que la empresa *Catalana de Gas y Electricidad* fue pionera en el desarrollo de la distribución de gas natural desde su planta de Barcelona, así como en la conversión de gas manufacturado a gas natural.

En lo que se refiere a la red, el cambio de gas exigió la revisión de todos los puntos de posible defecto en las instalaciones receptoras, también una atención en las canalizaciones de baja presión debido a que la mayor presión de suministro provocara un aumento del gas perdido en fugas de la red. Lo que requirió una actuación de revisión y cambio de tramos. En lo que se refiere a los usuarios, el cambio de gas exigió la adaptación de los aparatos conectados a la red, una purga del circuito interior y la lectura del contador. El nuevo gas tenía un poder calorífico superior al del gas manufacturado, también su densidad. También la presión de emisión debía de considerarse, esta era mayor, se pasó de 10 a 22 milibar pero al encontrarse ambas por debajo de 50 mbar no existían diferencias significativas para la red de distribución.

En el momento de iniciar el proceso de cambio de gas se tuvo presente que la red de distribución disponía de canalizaciones diversas, instaladas en épocas distintas y con materiales también distintos, es decir una red no homogénea.

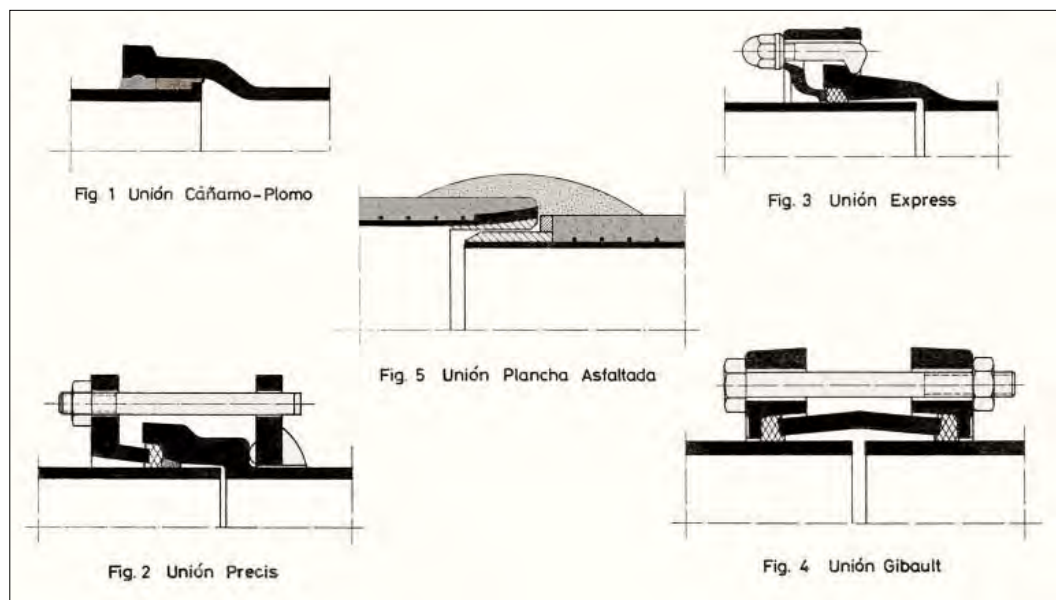
Efectivamente, era muy importante mantener el grado de humedad con que se distribuiría el nuevo gas. La humedad y algunos componentes que contenía el gas ciudad contribuían al mantenimiento de la estanqueidad de las uniones, principalmente las realizadas en tubos de hierro o de fundición, que estaban rellenas de materiales como el cuero, el cáñamo o gomas que aumentaban de volumen con la humedad o con los compuestos hidrocarbonados, por ello, la introducción de un gas natural, seco y sin componentes que facilitasen la impregnación de las juntas, representaba que se llegaría al correspondiente secado de estos elementos, y por tanto a una reducción de la estanqueidad, no recomendable en el suministro de gas. Dentro de esta casuística también quedaban afectadas las juntas de caucho natural, que podrían quedar inelásticas y rígidas y ocasionar fugas por reducción de su volumen. Por ejemplo

Cuadro 9.6. La red de distribución y el uso de gas natural

Tuberías existentes	Uniones no apropiadas para el gas natural
Acero	-
Fundición dúctil	-
Fundición gris	Cáñamo-plomo Elastómeros de caucho, tipo “Precís” y “Express”
Plancha asfaltada	-
Fibro cemento	Unión “Gibault”
PVC	-
Polietileno	-

se estudió que un 50 % de humedad relativa conducía en una fibra de cáñamo a un aumento del 8 % de su peso y un 2,5 % de su volumen. (ATG, 1985-87: IV-51)

ello era necesario adecuar el caudal de gas a la nueva situación cambiando el inyector por otro de menor diámetro. Además el gas natural, al ser un gas más rico necesita una



Tipos de uniones entre tubos de conducción de gas (Isern y Taboada, 1978: 14-15).

De estas razones surgió lo que se convino en llamar acondicionamiento del gas, para mantener las uniones de la red en un estado de equilibrio que limitase las fugas de gas. Este tratamiento consistió en introducir vapores de hidrocarburos o vapor de agua en dosis evaluadas en función del estado de la red que iba a cambiar a gas natural.

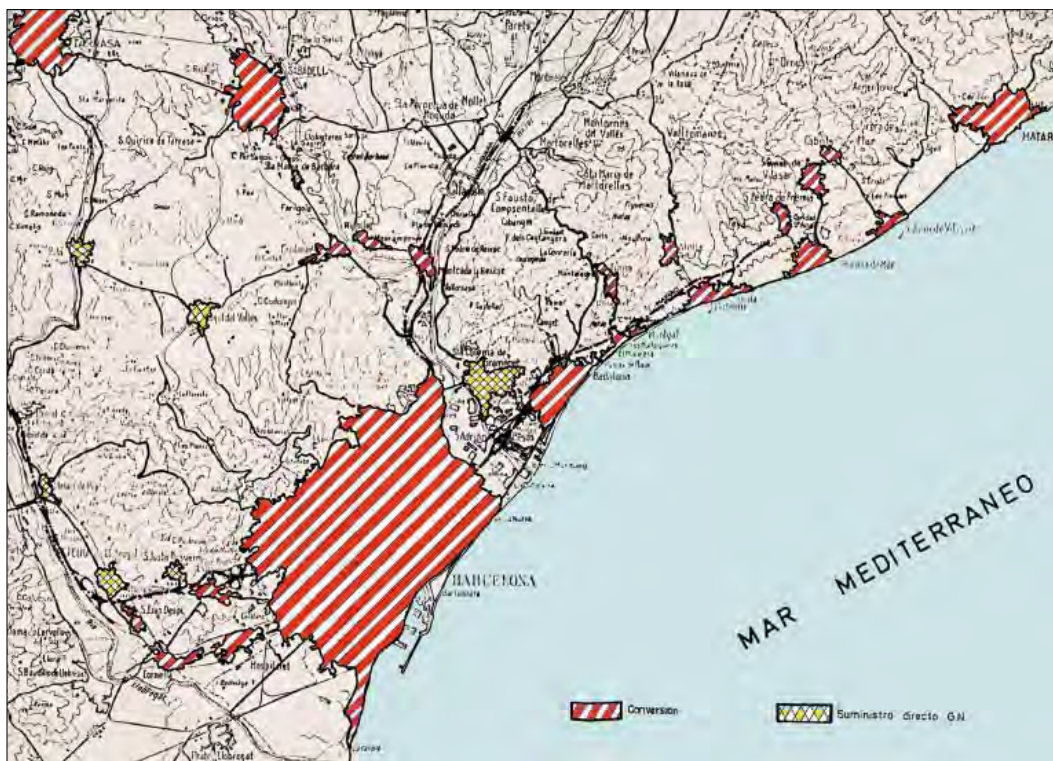
En lo que respecta a los aparatos de los usuarios, se debía garantizar que aquellos mantendrían una combustión correcta y que la potencia de los aparatos no se alteraría, por

mayor cantidad de aire para combustionar bien, por lo que como el aire se aporta en los quemadores por aspiración a partir del chorro de gas, esta aspiración debía ser mayor y por tanto para lograrlo, la presión del gas también.

El primer cambio de gas manufacturado a gas natural se hizo en la pequeña red de la ciudad de Figueres y en el año 1972 se empezó a preparar un cambio de gas a los usuarios de Barcelona y las poblaciones de su entorno que estaban alimentadas por

gas manufacturado. Hacía pocos años que el gas natural estaba utilizándose en Cataluña, en el sector industrial y aún eran pocas las ciudades que ya tenían gas natural como suministro habitual, aunque se preveía un gran aumento en el uso de este combustible. Catalana de Gas desarrolló el proyecto técnico para la eliminación del gas manufacturado que consistió en: primero efectuar un censo de todos los aparatos de gas existentes conectados a la red de gas, y a verificar las instalaciones interiores, tanto las comunes del edificio como

las particulares de cada abonado, procediendo también a efectuar pruebas de estanqueidad y localización de fugas de gas. Conocidas todas las características de los aparatos instalados en la red, se procedió al acopio de los accesorios pertinentes para el cambio de los inyectores y la transformación de los aparatos quemadores como consecuencia de las diferencias que presenta el gas natural ya que si se mantuviera el inyector, el gas natural podría ser difícil de encender, con una llama imperfecta y dejando residuos de combustión.

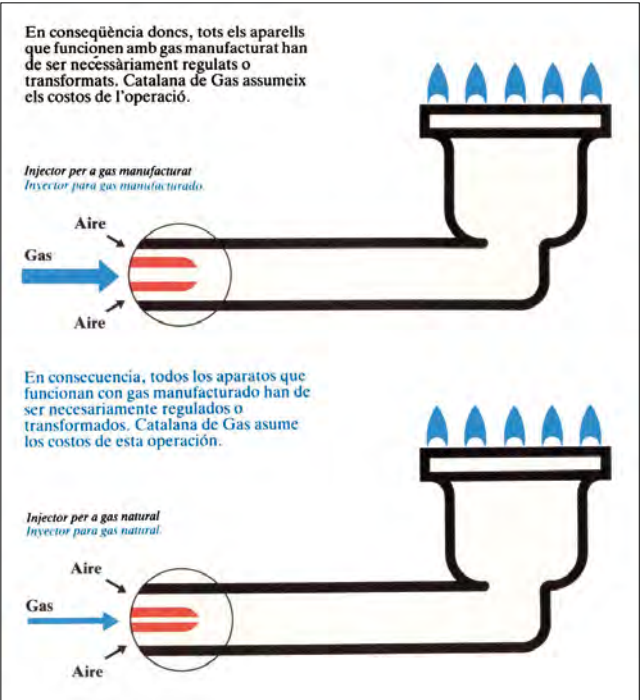


Proyecto de introducción del gas natural en Barcelona y alrededores (Basáñez, 1972: 8).

Un segundo cambio significativo se realizó en el período entre los años 1987 y 1991, con un total de 374.000 usuarios cambiados de gas manufacturado a gas natural. Al iniciarse el cambio una parte de la ciudad estaba siendo suministrada por gas natural a partir de arterias que la rodeaban, pero el centro de la ciudad seguía siendo suministrada por las dos fábricas de gas manufacturado.

En esta segunda fase tampoco se modificaba la red interior de los edificios que tuvieran tuberías de plomo, salvo que la detección de fugas fuese importante. No obstante se recomendaba una adaptación de la instalación a las nuevas normativas que habían surgido entre los dos períodos.

“Al inicio de la operación, el ciclo de transformación de los 2.000 usuarios era semanal, de lunes a viernes. Posteriormente, se decidió cambiarlo a dos ciclos de dos días, lunes-martes y miércoles-jueves, de modo que los sectores de cambio eran de 1.250 usuarios”.



(Catalana de Gas, folleto cambio de gas, 1987).

Cuadro 9.7. Etapas en la introducción del gas natural en Cataluña

Año	Distribución	Miles de usuarios	Fábricas cerradas
1987	Barcelona	50	-
1988	Barcelona	80	-
	Lleida	6	Lleida
	Garraf	18	Vilanova
1989	Barcelona	92	Barceloneta
	Manresa	14	Manresa
1990	Barcelona	88	Sant Martí
	Tarragona	12	Tarragona
1990-91	Girona	14	Girona

Fuente: Márquez, 1991: 65.

“En cuanto a la red afectada por el cambio de gas, teniendo en cuenta sus características, se adoptó el criterio de sustituir de modo previo toda la fundición gris de diámetros pequeños, de hasta 100 mm inclusive, así como los de fibrocemento de esos diámetros. También se decidió acondicionar el gas natural con glicoles para conseguir la humidificación de las juntas de cáñamo de los tubos de fundición, y tratar individualmente las juntas de los tubos de fibrocemento de diámetro grande”.

(. / .)

“ ... se decidió realizar el cambio de gas en la red con cierre previo de las acometidas. Esto implicaba tener todas las acometidas

localizadas, con asignación de usuarios, asegurar la maniobrabilidad de las llaves de acometida, y sus buenas condiciones de estanqueidad”.

(. / .)

“ .. ahora bien, si en cada sector, en la noche del cambio de gas, debe asegurarse el cierre de todas las acometidas, es imprescindible que todas ellas estén localizadas, sean accesibles y maniobrables. De ahí nace un segundo grupo de operaciones de fase previa; saneamiento, es decir, anulación, sustitución o mantenimiento de todas las llaves de acometida” (Márquez, 1991: 63-66).



(Catalana de Gas, folleto cambio de gas, 1987).

En resumen, el cambio de gas ciudad a gas natural se ha realizado de forma paulatina en las ciudades con distribución de gas, ha sido un largo proceso que empezó en 1971 en Barcelona y que se fue asumiendo por fases hasta su total conversión. En el año 1987, antes de empezarse en Cataluña la segunda y definitiva fase de conversión, la situación del gas era la siguiente:

de CO en el gas de emisión. Además permitió conocer cual era el comportamiento de la red, en lo que se refiere a las fugas en las uniones de tubos, con un gas ligeramente más seco que el propio gas ciudad.

En Madrid la conversión de gas manufacturado a gas natural, se hizo bajo premisas similares a las que se habían planteado en Barcelona.

Cuadro 9.8. Situación del gas en España en 1987

Fábrica	Proceso instalado
Barcelona	Gas ciudad + aire metanado
Bilbao	Gas ciudad
Lleida	Gas ciudad
Madrid	Gas ciudad
Málaga	Gas ciudad
Manresa	Gas ciudad con aire metanado
Murcia	Gas ciudad
Palma de Mallorca	Gas ciudad
San Sebastián	Gas ciudad con aire propanado
Sevilla	Gas ciudad
Tarragona	Gas ciudad con aire metanado
Valencia	Gas ciudad con aire metanado
Vilanova i la Geltrú	Gas ciudad con aire metanado

Fuente: Catalana de Gas S.A., 1987: 3.2.1.

La adición de gas natural o propano en el gas ciudad fue una solución intermedia entre el gas ciudad y el gas natural. La instalación de un sistema de inyección de gas al final del proceso de craqueado era técnicamente sencilla. Con la mezcla se incrementaba la capacidad de producción sin aumentar las instalaciones de craqueado y además se reducía el porcentaje

Empezó por las zonas más cercanas a los ejes de transporte del suministro de gas natural, se empezó por la zona de Tres Cantos y fue avanzando hasta llegar, en el año 1996 a la totalidad de los usuarios de la red de Gas Madrid. Quedaban otras poblaciones en las que efectuar el cambio, que se ha ido realizando posteriormente.

9.2. La red de distribución de gas natural

La red de distribución asegura la fiabilidad y continuidad del suministro de gas con la máxima seguridad.

La presión de la red de distribución es el parámetro más significativo. En su origen, la presión de distribución ha estado basada en la que ejercían los gasómetros de las fábricas, que era del orden de 10 milibares por encima de la presión atmosférica. Pero la tecnología ha ido desarrollando nuevas posibilidades para distribuir el gas a mayores presiones, con la utilización de compresores, lo que ha representado también tener mayor capacidad de emisión de gas.

Debe indicarse que 1 kg/cm², representa 0,9807 bar. En la industria gasista se habla de una u otra unidad casi sin pensar en que hay una corrección para transformar de una a otra. El origen de bar viene de “báros” que en griego representa peso y viene a ser igual a 750,06 mm de columna de mercurio o también 100 000 Pascales que es la unidad de presión en el Sistema Internacional de Unidades.

La existencia de gas natural en países pioneros, como son los Estados Unidos, ha propiciado la existencia de un intenso desarrollo de la

tecnología de la red de distribución. Desde hace muchas décadas, en las distintas ciudades estado-unidenses se adoptaron soluciones en función de las distintas redes existentes y de su extensión, utilizando la presión necesaria para satisfacer la demanda en condiciones técnicas. Por ejemplo, en Chicago, a finales de los años cincuenta la empresa *People Gas Light and Coque Co.* distribuía, el gas mediante una red de media presión, que inicialmente había funcionado a 0,45 kg/cm² y que se cambió, a mediados de los años cincuenta, a la presión de 1,75 kg/cm². La red de distribución en baja presión funcionaba a 0,016 kg/cm² pero también había usuarios que tenían suministro a la presión de 0,14 kg/cm². En cambio en Nueva York, en los distritos de Manhattan y Bronx, la empresa *Consolidated Edison of New York Co.* tenía en 1958 una red de alta presión de 14 kg/cm² pero la red de distribución tenía la presión media de 0,35 kg/cm² y para usuarios industriales suministraba a 2 y 4 kg/cm². La red de baja presión funcionaba a la presión de 0,015 kg/cm² (*Gaz d’Aujourd’hui*, 1958: 385).

En Francia actualmente la presión más usual es la de 4 bar, que sirve para la distribución final a usuarios y donde la regulación para la disminución de la presión hasta la de utilización está en cada uno de los edificios de viviendas.

En la red holandesa del año 1974, que trabajaba

Cuadro 9.9. Clasificación de las instalaciones según la presión de servicio por encima de la atmosférica

Nivel	Presión	Servicio a
Alta presión	desde 4 hasta 16 kg/cm²	Redes urbanas y grandes usuarios industriales
Media presión A	hasta 4,0 kg/cm²	Redes de polígonos industriales y redes urbanas
Media presión B	hasta 0,4 kg/cm²	Redes urbanas y edificios
Baja presión	500 mm de columna de agua (0,05 kg/cm²)	Redes urbanas antiguas y usuarios residenciales y comerciales

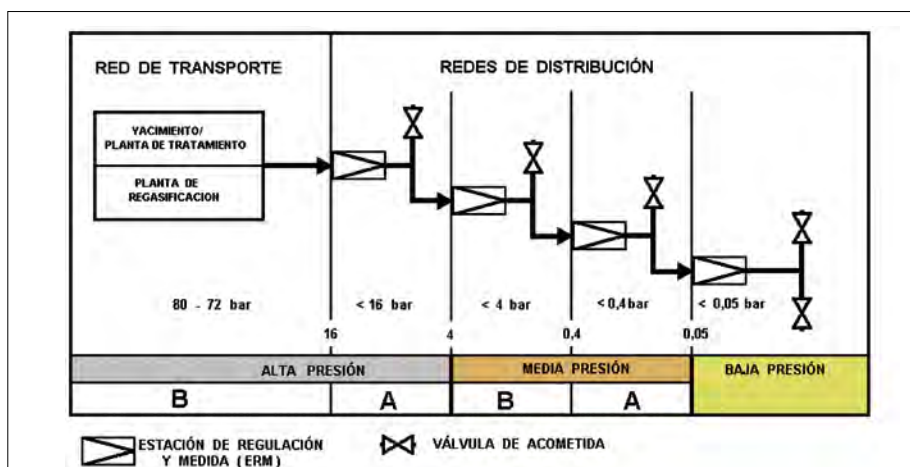
hasta la presión de 8 bar, solo el acero y la fundición dúctil se utilizaban en cualquier ámbito de presiones, mientras que el polietileno se utilizaba hasta 3 bar, la fundición gris hasta 1 bar y el fibrocemento y el PVC hasta 0,1 bar. En España en la mismas fechas solo existía el acero para presiones medias y la fundición gris, el fibrocemento, el PVC y la chapa asfaltada en baja presión (Mutter, 1974: 2).

Las presiones de impulsión de gas cumplen con el objetivo de hacer llegar la capacidad calorífica del gas en condiciones adecuadas para los quemadores de todos los usuarios. Con la implantación del gas natural en las áreas de población, se han ido construyendo nuevas redes para distribuir este gas desde las estaciones receptoras mediante canalizaciones importantes, pero también en aquellas ciudades que ya tenían gas manufacturado se han continuado utilizando las redes existentes, construidas con distintos materiales y en distintas épocas.

El sistema de canalizaciones que utiliza la

distribución de gas natural tuvo ya desde un principio un diseño distinto del anterior sistema de gas ciudad. Mientras este gas era suministrado habitualmente con redes de baja presión y en algunos casos, a partir de los años cuarenta, también con redes a una presión superior—menor de 2 bar— que se utilizaban como si fueran de transporte. Con el gas natural se impusieron tres niveles que se estructuraron según la presión de trabajo utilizada, presión que ha ido definiendo o señalando las técnicas y los materiales utilizados en las tuberías, mejor adaptados para soportarla.

El paso de una presión alta a otra más baja se efectúa siempre mediante un regulador de presión. Este aparato, que viene usándose desde hace más de 100 años, y en esencia no ha variado su estructura funcional, aunque sí se han ido incorporando mecanismos que permiten fijar de forma más precisa la presión, según si el regulador es para uso final en baja presión en una vivienda, o para uso en redes de media o alta presión, es decir, el equipamiento del regulador depende del tipo y categoría



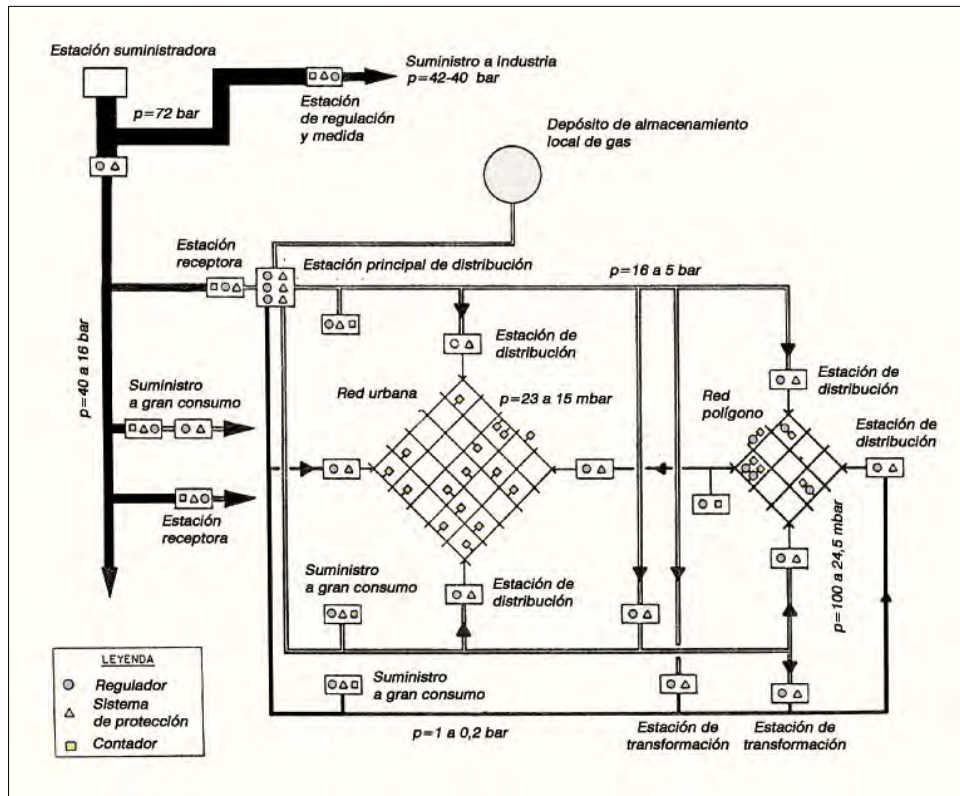
Niveles de presión utilizados para el gas natural (SEDIGAS).

del consumo y con las distintas presiones de trabajo se ha extendido enormemente su utilidad.

En Barcelona, la presión de hasta 16 bar tiene su origen a finales de los años 1960 cuando, con la previsión de introducción del gas natural en Barcelona, se decidió la colocación de una nueva tubería de reparto de gas en el interior de la ciudad bajo las normas americanas ANSI, que funcionaría a la presión de 10 bar y que mediante estaciones reguladoras se conectaría con la

antigua red de media presión a 0,4 bar que salía de las fábricas de gas. En el entorno de la capital barcelonesa la presión de las canalizaciones de transporte era de 4 bar ya que estas llegaban hasta Terrassa por una parte y Mataró por otra.

Así pues, con la llegada del gas natural, la red de distribución se expansionó y se empezaron a utilizar presiones distintas a las habituales. La expectativa de una gran demanda haría abandonar las presiones medias y entraría de lleno en las presiones



Esquema general del sistema de suministro de gas natural (Martínez, 1980: 12).

altas, instalándose la primera tubería de España a la presión de 40 bar adoptando la Norma ANSI 300 e instalando estaciones reguladoras para bajar esta presión a 10-12 bar y poder conectarse con la red existente. La tecnología de colocación de tubos en el entorno de Barcelona y en la propia ciudad fue una novedad. Con el aumento de la demanda, aquella canalización interior que trabajaba a la presión de 10 bar, amplió su presión hasta 12 bar primero y hoy trabaja a 16 bar. Esta posibilidad de utilizar una misma tubería a distintas presiones se puede efectuar porque las tuberías instaladas para presiones superiores a 4 bar se construían siempre en acero y este según el espesor de la pared, puede alcanzar valores de presión elevados, circunstancia que se aprovechó siempre que se necesitó.

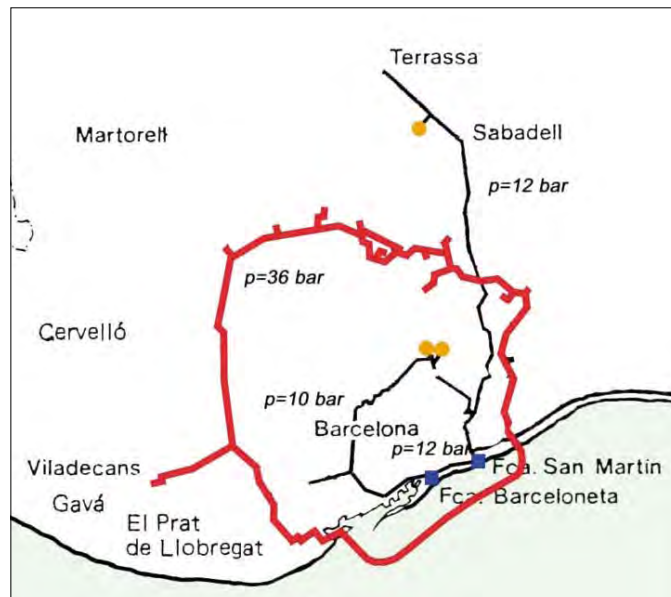
El esquema resume lo que representa actualmente la red de distribución y las distintas presiones de trabajo. Realizado en 1980, no ha cambiado significativamente. En él aparecen los tres niveles de presión utilizados y que son los que permiten efectuar la distribución de gas de forma adecuada.

9.2.1. La red de alta presión

La red de distribución de alta presión va desde 4 bar hasta 16 bar. En España se desarrolló en los primeros momentos de introducción de gas natural. La tecnología utilizada para extender esta red siguió siendo la vinculada con el acero porque era la más segura y desarrollada.

La primera red que se construyó en España, a la presión de 10 bar, fue la de Barcelona a finales de los años 1960. La causa era la

necesidad de poder distribuir con mayor capacidad la demanda de gas manufacturado



Red de alta presión de Barcelona en 1973-75
(Gas Natural S.D.G).

La introducción del gas natural provocó la necesidad de disponer de una red de mayor capacidad y se continuó desarrollando esta red de alta presión. En 1975 ya se había construido una nueva red de 36 bar utilizando acero tipo API-5LX-42, con tubos de diámetro de entre 12" y 18" soldado helicoidalmente. El desarrollo tecnológico de la introducción del gas natural no se limitó a la zona previamente suministrada con gas ciudad, sino que se expandió con nuevas canalizaciones. En el año 1975 tenía conectadas 14 estaciones reguladoras de las que salían un total de 85 km de líneas de

media presión de 12 bar y de 5 bar con tubos de acero de entre 20" y 2 " tipo API-5L Gr B (Enciclopedia OilGas, 1975: 126). En realidad esta red no estaría estrictamente dentro de la distribución, pero tampoco se le asigna el papel de red de transporte, viene a ser como una red de reparto.



Estación reguladora de Cerdanyola, una de las primeras que se construyeron para la distribución de gas natural sobre la red de 36 bar de Barcelona. Desde esta instalación se facilitó el cambio de gas de las redes Sabadell y Terrassa entre 1971 y 1973 (J.Mata).

En toda la geografía española se han ido desarrollando redes de distribución de alta presión para hacer llegar el gas natural a todas partes. Por ejemplo uno de los proyectos largamente esperados fue la introducción del gas natural en Asturias. Su ejecución se inició a mediados de 1987 con el gasoducto Burgos-Santander-Asturias. La ventaja que comportaba el gas natural era que, aunque el gas manufacturado solo estuviese instalado en las ciudades de Oviedo y Gijón con sendas fábricas de gas, la red de gas natural se extendió por buena parte



Canalización de tubería de acero, sistema de zanja y tubos preparados para la soldadura (Gas Natural S.D.G.).

de la provincia. Esta nueva red, como se dibuja en el plano adjunto, se diseñó ya con tubería de acero en su parte de alta presión y tubería de polietileno en su parte de media presión y permitió suministrar gas natural a los distintos usos industriales así como

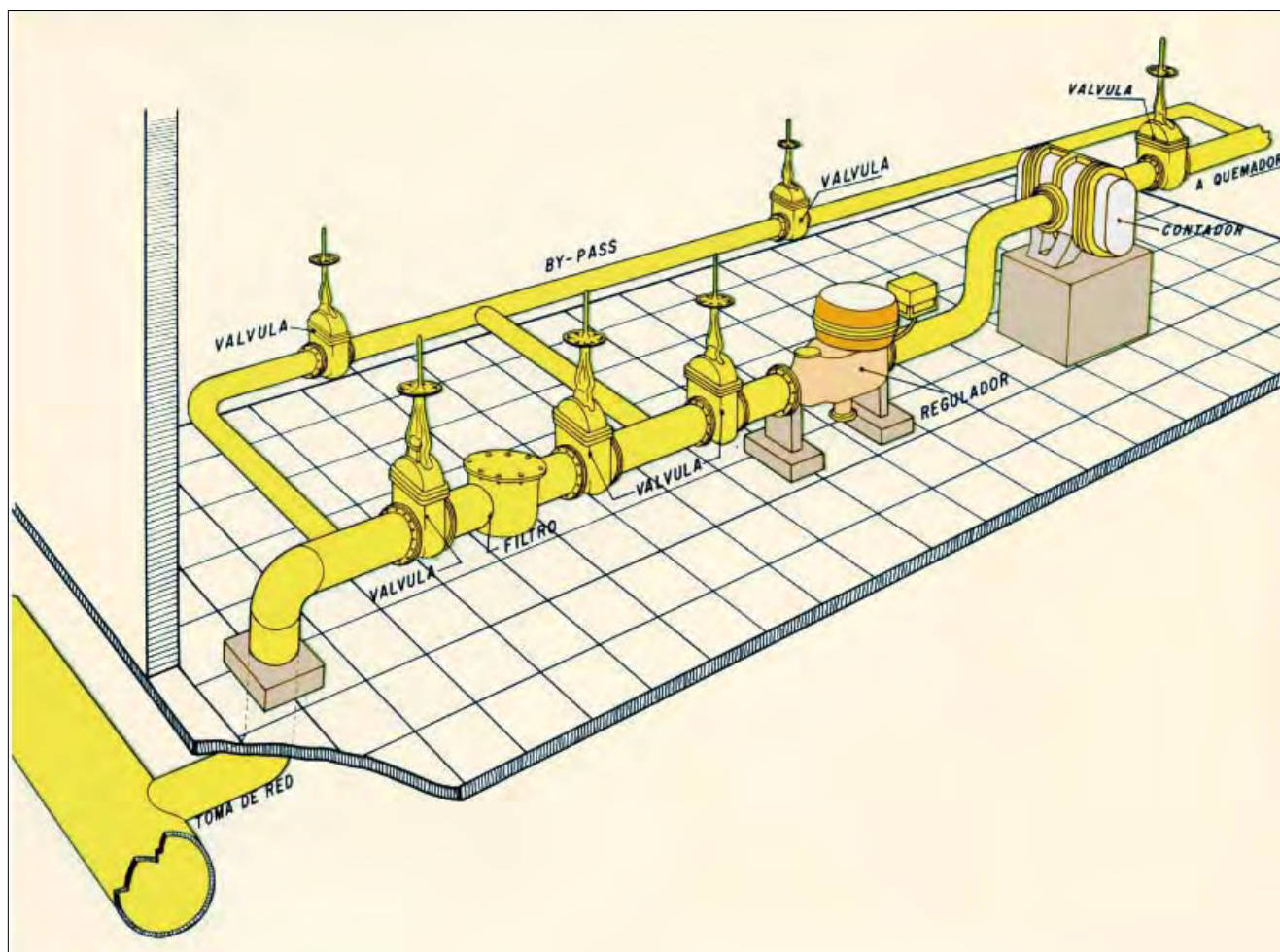
9. Estructuras de difusión y control del gas natural

gasificar poblaciones que anteriormente no disponían de gas. En su trayecto conectó con las fábricas de gas de Gijón y de Oviedo. La tubería de distribución principal es de acero revestida de polietileno, excepto en sus extremos para poderse soldar. Se estableció que funcionase a 16 bar, y en su mayor parte es de 6 y 8 pulgadas (aproximadamente 15 y 20 cm) de diámetro. Una vez soldada se aplicó el recubrimiento de protección contra la corrosión en las zonas de soldadura.

Las estaciones de regulación y medida tienen la misión de conectar y alimentar una red a una presión con una red de otra presión inferior. Son puntos donde además se controla el gas que circula por la estación. Este sistema no ha nacido con la introducción del gas natural, pues desde la red de media tensión de gas manufacturado ya se suministraba a la red de baja tensión, pero actualmente son los únicos dispositivos desde donde se distribuye gas natural desde los gasoductos.

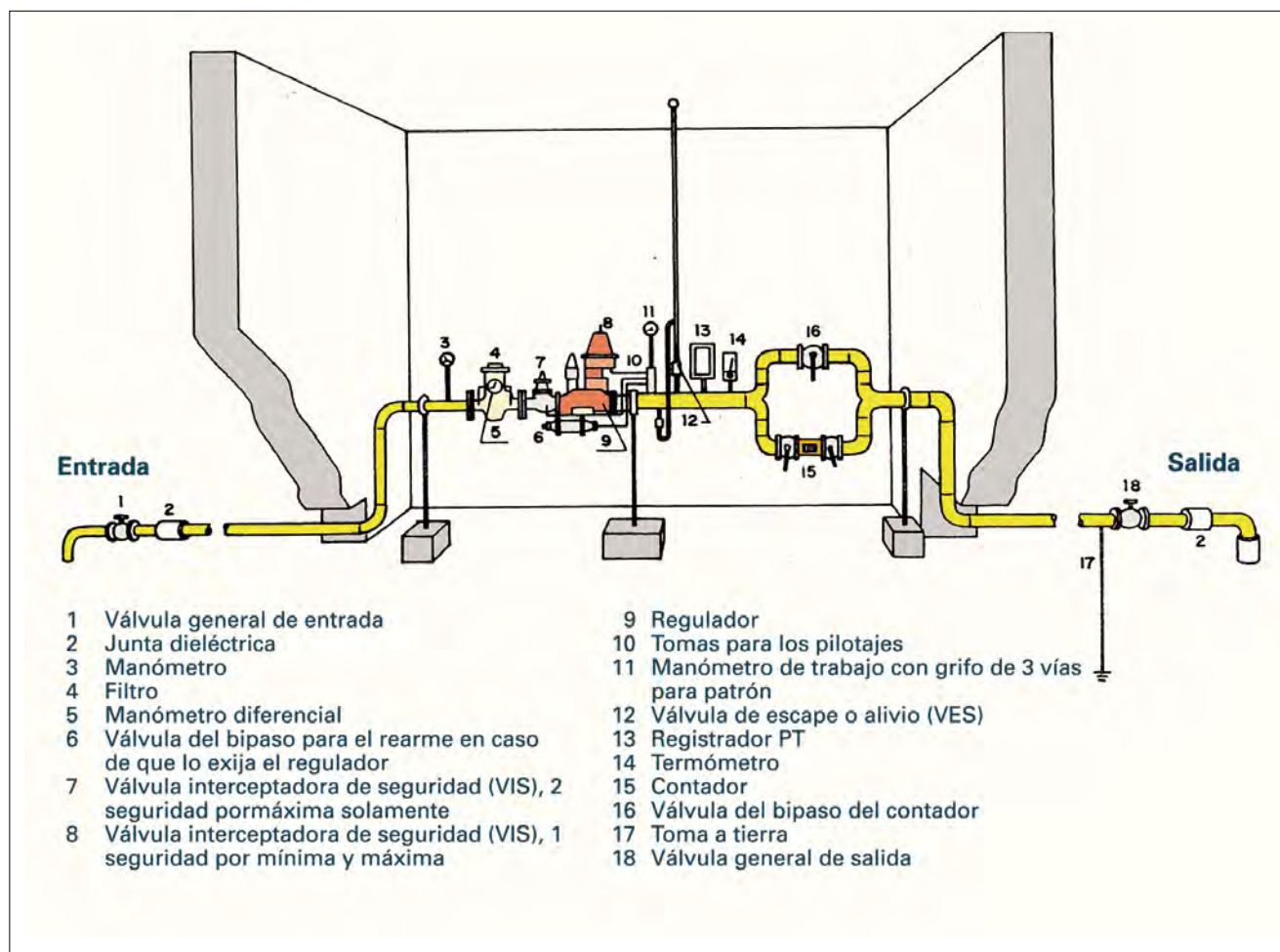


Proyecto de la nueva red de distribución de gas natural en Asturias (Rivera, 1988: 17)



Estación de regulación y medida, proyecto del año 1969 (Gas Natural, S.A.).

9. Estructuras de difusión y control del gas natural

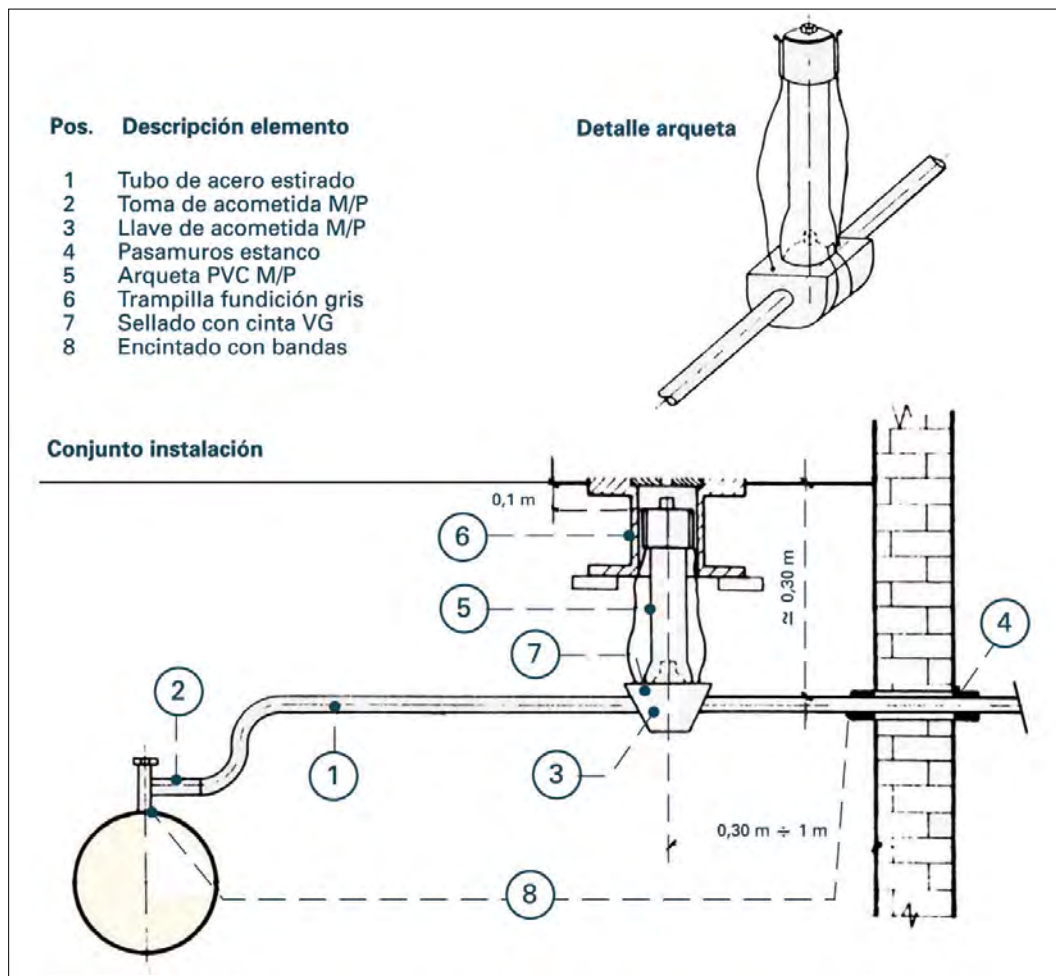


Estación de regulación y medida, proyecto del año 2008, con los equipos estándar para una buena explotación y seguridad de suministro (Gas Natural, SDG, S.A.).

9.2.2. La red de media presión

La media presión va desde 0,05 bar hasta 4 bar y sirvió para efectuar las primeras canalizaciones de importancia en la época del gas manufacturado en las ciudades

españolas entre finales de los años 1950 y mediados de los años 1960. Pero ha sido con la introducción del gas natural cuando ha tenido un desarrollo mucho más amplio. Con este gas han desaparecido las redes de baja presión y son las denominadas redes de media presión A (MPA) y media presión B



Acometida de media presión B (Mata, 1980: 11).

(MPB), las que se canalizan por las ciudades para efectuar el suministro. Las de MPA pueden ser redes nuevas o redes de baja presión reacondicionada para trabajar a una presión superior, pero las MPB son siempre redes nuevas. En España la red de MPB no se introduce en los edificios. Mediante un regulador instalado en el exterior de la finca se convierte en MPA y esta se introduce hasta el recinto de contadores. El contador tiene su propio regulador que cambia de MPA a la baja presión de utilización.

El material plástico que ha proporcionado más seguridad a las canalizaciones de

media presión ha sido el polietileno. El polietileno es una parafina de alto peso molecular. Fue descubierto en 1933 por polimerización del etileno a una determinada presión y temperatura que se presenta como una molécula de larga cadena lineal. Esta estructura le da al polietileno sus propiedades termoplásticas. El polietileno es un polvo blanco que puede presentar varias estructuras y según estas, la distinta ramificación de la cadena de hidrocarburos ofrece tres tipos de material, distinguidos por su densidad: baja, media y alta, que tienen propiedades distintas como



Una de las primeras canalizaciones de polietileno de España en la red de gas natural de Montcada y Reixach, año 1980 (J. Mata).

su elasticidad, la resistencia mecánica al impacto, su capacidad dieléctrica y otras. El polietileno es aún más dúctil que el PVC y además es inalterable químicamente. También las uniones son más fáciles porque gracias a su bajo punto de fusión, solo 130 °C, se pueden unir directamente dos tubos sin accesorios intermedios y con buen resultado de estanqueidad.

El polietileno primero fue utilizado en aplicaciones militares, pero en los años 1960, un polietileno de media densidad, bajo el nombre comercial de *Aldyl*, se empezó a utilizar en Estados Unidos en canalizaciones de gas de media y baja presión. A partir de este compuesto se extendió rápidamente su uso, con nuevos tipos y modelos según la empresa que los comercializó. En Gran Bretaña y Alemania se utilizó un compuesto de alta densidad, comercializado con el nombre de *Hostalen*, era una segunda generación de polietileno que se clasificó como PE 50. En los años setenta el polietileno se iba desarrollando y se utilizaba en Europa para la nueva red de gas natural, y a mediados de los años ochenta apareció una tercera generación de polietileno, el PE 80, que podía permitir tubos de hasta 200 mm de diámetro. La aplicación del polietileno ha sido uno de los avances más importantes que se han realizado en la industria del gas a causa de las propiedades que presenta (Speybroeck, 1987: 5).

El polietileno inició su utilización en España, introducido por *Catalana de Gas y Electricidad, S.A.*, a principio de los años 1980 en canalizaciones de baja presión y también algunas canalizaciones de media presión inferiores a 4 bar. Se utilizó el conocido como PE 80, un polietileno de media densidad con

una resistencia a tracción inferior a 80 kg/cm², que se presentaba de color amarillo por la adición de cadmio como colorante, que posteriormente ha sido substituido por colorante orgánico.

Las propiedades del polietileno fueron suficientemente atractivas para pensar en que podía tener aplicación también en redes de presión superior substituyendo al acero. Efectuadas estas canalizaciones se encontró que aparecían fisuras por falta de resistencia a la presión, pero además no se mantenían estables sino que experimentaban una propagación longitudinal de muchos metros dejando la tubería con una gran abertura. A este fenómeno que se llamó “Rapid Crack Propagation” (RCP) era favorecido cuando las tuberías eran grandes, con presiones de trabajo altas y temperaturas del terreno muy bajas.

A mediados de los años 1980 aparecía un compuesto de polietileno de mayor resistencia, se conoció como PE 100, era un polietileno de alta densidad, con una resistencia a la tracción superior a 100 kg/cm² y su evolución ha permitido que actualmente se utilice habitualmente en las redes de hasta media presión e incluso superiores a los 5 bar.

Actualmente el mercado ofrece una gama de tubos de polietileno capaces para soportar las distintas presiones de distribución del gas. El espesor de la pared del tubo es el valor que determinará, en función también del diámetro del mismo, la capacidad de soportar la presión prevista. Un parámetro que se conoce como SRD y que se define como el coeficiente entre el diámetro exterior y el espesor del tubo, viene a ser como una calificación de capacidad de

resistencia del tubo. En España se utilizan actualmente para SDR valores de 11 y 17,5, pero anteriormente con PE 80 los valores de este parámetro eran inferiores, lo que indica que la adopción de PE 100 ha influido en una reducción de los espesores de los tubos.

Debe considerarse asimismo el avance en la tecnología de elaboración de accesorios de canalizaciones de polietileno, lo que ha representado un impulso para la ejecución

Ahora bien, dicha soldadura para quedar sin fallos y con unas características mecánicas equivalentes a las de cualquier otra sección del tubo, debe ser realizada respetando unos parámetros establecidos. La existencia de defectos en la soldadura que pueden ser imperceptibles externamente pueden ser importantes para la estanqueidad del tubo. Por este motivo, en el inicio del uso del polietileno se implementaron inspec-

Cuadro 9.10. Material empleado en tubos para distribución de gas en media presión

Desde 1960	Desde 1980
acero	polietileno

de nuevas canalizaciones porque una de las propiedades con que se caracteriza este material termoplástico es la termofusión, es decir, que a una temperatura apropiada se puede unir a sí mismo, con lo que las uniones entre tubos quedan integradas como si fuera el mismo tubo.

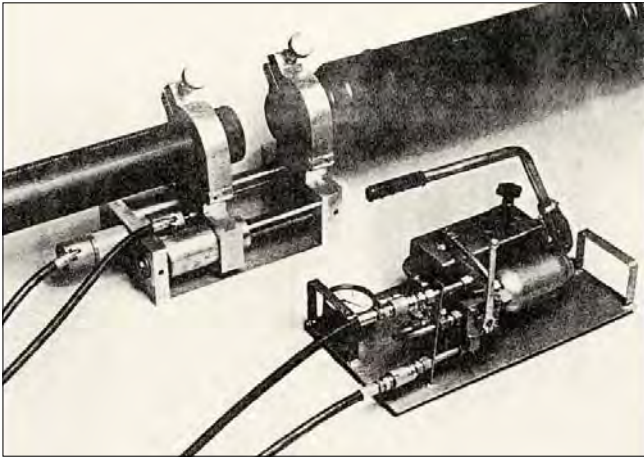
ciones mediante técnicas radiográficas o por ultrasonidos para asegurar que la unión era correcta y no presentaba fisuras, aunque la técnica que se ha adaptado mejor ha sido la de ultrasonidos, de la que se han desarrollado varios tipos de equipos.

Al final de los años 1980, el polietileno era usado en todo el mundo:

Cuadro 9.11. Presión máxima utilizada con canalizaciones de polietileno

10,0 bar	Hungría
6,7 bar	USA
5,0 bar	Bélgica
4,2 bar	Canadá
4,0 bar	Austria, Alemania, Dinamarca, Francia, Italia, Holanda, Noruega, España, Suecia, Gran Bretaña, Yugoslavia.
1,0 bar	Corea, Japón

Fuente: Speybroeck 1987: 30.



Accesorio para proporcionar presión a la unión de tuberías por acople directo (Speybroeck, 1987: 40).

9.2.3. La red de baja presión

Cuando en España se empezó a distribuir gas natural, muchas ciudades ya tenían la red existente construida en anteriores etapas. Así la red con que se distribuyó el gas ciudad estaba constituida principalmente por tubos de hierro dulce recubierto con asfalto o tubos de fundición gris. También había tubos de fibrocemento, aunque en España estos eran en menor proporción respecto de los anteriores, en cambio sí que fueron utilizados preferentemente, desde que se implantaron en los años treinta, en Italia, Bélgica y Austria.

El cambio de gas ciudad a gas natural, o la emisión de un gas mixto compuesto por gas natural y gas ciudad representaron un cambio de características en toda la estructura gasista. Ello contribuyó a la modificación de parámetros, uno de ellos



Tubería de polietileno PE100 para media presión (Gas Natural S.D.G.).

fue un aumento de la baja presión, que de 9-12 milibares pasó a 20-22 milibares, con lo cual las redes tuvieron una mayor tasa de fugas. Para paliar esta pérdida, la tecnología aportó los materiales necesarios allí donde la humidificación no era suficiente, o sencillamente la red estaba deteriorada.

En lo que refiere a humidificación se encontraron diversos líquidos que se emitían

junto con el gas y tenían la propiedad de hinchar las juntas, como anteriormente lo hacía la propia humedad del gas ciudad. Este era el punto débil de la red, se introducían en los puntos donde la red a nivel del subsuelo era más alta y en su recorrido se iban depositando por cualquier lugar. Su eficacia no fue nunca completa pero mitigaban las fugas.

En los años cincuenta también se empezaron a utilizar en las canalizaciones los nuevos materiales termoplásticos, entre los que se encontraban el Cloruro de Polivinilo (PVC) y el Polietileno (PE). Estos materiales tenían propiedades importantes frente a los tubos de fundición dúctil, destacando su menor peso, casi 5 veces menor, su mayor flexibilidad en caliente y su menor afectación a la corrosión química. De estos dos materiales, y algunos otros, como el polipropileno. El PVC fue el primero que se incorporó en las canalizaciones de distribución de gas natural. Sin embargo no hubo unanimidad entre las sociedades gasistas europeas en la preferencia por uno u otro tipo de material en el desarrollo de sus nuevas redes entre la fundición dúctil o el plástico PVC. En Estados Unidos la primera canalización con materiales de plástico PVC se construyó en el año 1942 en la costa oeste, pero no empezó a introducirse hasta el inicio de la década de los años 1950 en canalizaciones de gas secundarias y también sirvió para reemplazar conducciones de hierro o cobre (Chen, 1974: 74). El PVC fue adoptado de forma muy distinta en Europa pero siempre se usó para canalizaciones de gas en baja presión substituyendo tuberías de plancha asfaltada o de fundición gris muy deterioradas. Mientras en Francia se utilizó muy poco porque se consideró que su

fragilidad era su principal inconveniente, en cambio en Holanda, a finales del año 1962, solo en conducciones principales de gas tenía ya instalados alrededor de 1.000 km, y el 30 % de las nuevas instalaciones de gas se hacían con este material, aunque también se usase la fundición dúctil. La naturaleza del terreno, con un nivel freático muy poco profundo y con terrenos húmedos, situaba al PVC aventajado por su menor corrosión que los tubos metálicos. Además, en Holanda la introducción masiva del gas natural dejaba sin efecto la desventaja del PVC acerca de la poca resistencia que tenía hacia algunos hidrocarburos presentes en el gas ciudad, porque en el gas natural no estaban.

El PVC también se adoptó en Alemania y Austria para el gas ciudad manufacturado, y aunque como decíamos, el PVC era vulnerable a la presencia de hidrocarburos aromáticos –como el benzol– estos países distribuían el gas manufacturado, exento de estos hidrocarburos y por ello el PVC no resultaba problemático. Sí lo era, en cambio, en Gran Bretaña o en otros países, que distribuían gas manufacturado con estos hidrocarburos, y aunque tuviesen un contenido pequeño, era suficiente para no poder emplearlo. Sin embargo, como decíamos antes, el PVC con el gas natural no presentaba ninguna complicación por el hecho de que este gas no contenía elementos corrosivos.

En el año 1974 en Estados Unidos se precisaba que la mejor respuesta de los termoplásticos la presentaba el polietileno. Una respuesta similar pero con matices era la expuesta por los ingenieros holandeses, que añadían que el PVC tenía la mejor resistencia a la presión así como su rigidez, y que el PVC hasta 160

mm de diámetro se comportaba igual que el PE de media densidad y peor que el de alta densidad. En Holanda el PVC era el plástico mayoritario en canalizaciones de gas pero poco a poco se fueron decantando por el uso del polietileno (PE), sin dejar de utilizar el PVC de alta resistencia al impacto, que mejoraba el principal problema de este material (Mutter, 1974: 4).

también las técnicas de unión entre tubos, a veces de distinto material, las profundidades de canalización el tipo de terreno o su estabilidad, todo ello ha debido contribuir en las decisiones tomadas para reestructurar la red.

El gas natural, tiene unas características y unas propiedades energéticas distintas a las del gas manufacturado que había estado

Cuadro 9.12. Prestaciones técnicas entre PVC, PE y PB

Parámetro	Mejor respuesta
Durabilidad	PVC (cloruro de polivinilo)
Relación tiempo - esfuerzo	PB (Poli butileno)
Dureza	PE (polietileno)
Resistencia a la temperatura	PE
Permeabilidad	PVC
Resistencia química	PE
Flexibilidad	PE & PB
Métodos de unión	PE
Empaquetado y transporte	PE

Fuente: Chen, 1974: 75.

Adaptar y desarrollar una red de canalizaciones de gas existente, con los nuevos materiales y un nuevo tipo de gas ha sido uno de los problemas de los ingenieros de la industria del gas. Las redes antiguas han utilizado otro tipo de materiales de canalización adaptados a las características del gas manufacturado, es decir, mayor contenido en humedad y menor presión. El análisis de la red existente ha requerido un conocimiento detallado de la misma, no solo el material o el diámetro utilizado, sino

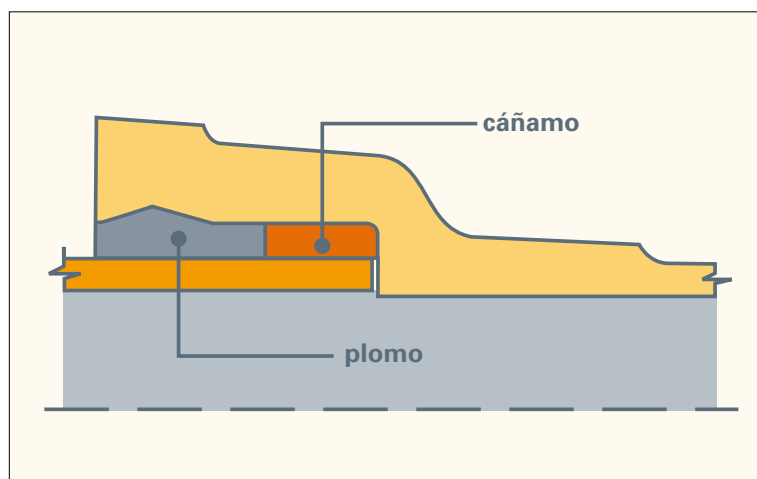
circulando por las canalizaciones. Por esta causa el cambio de gas manufacturado a gas natural en las redes de distribución existentes hizo que se tomaran precauciones en las canalizaciones antiguas. Por una parte por el aumento de presión que llevaba aparejado de 10 mbar a 20 mbar, pero más destacable fue la diferente humedad de ambos gases. Debido principalmente a estas características, y como ya se ha indicado anteriormente el punto débil de las canalizaciones fueron las juntas de estanqueidad

de las uniones de tubos, derivaciones laterales, válvulas, medidores de presión y otros elementos constituyentes de la red. Los principales problemas aparecieron en las juntas de fibras vegetales –cáñamo y yute– utilizadas en las uniones de tubos de fundición gris y en las de plancha de hierro asfaltado, y también en las de Fibrocemento con las juntas de goma que utilizaban, en parte a causa de su vejez, y también por no tener el gas natural la humedad que precisaban estas juntas para mantenerse correctamente, pues con el gas manufacturado la humedad mantenía un estado de compresión suficientemente alto e impedía la salida del gas.

Antes de proceder al cambio de gas, se trabajaron varios métodos para dar estabilidad a estas uniones y disminuir las fugas de gas, el primero fue el de introducir

una cierta humedad en la emisión de gas natural para mantener las juntas en buen estado. Esta acción se efectuó con un producto orgánico, el monoetilenglicol (MEG) como acondicionador del gas. Después de varios ensayos se demostró que adicionado en fase vapor al gas con un porcentaje de entre 50 y 100 mg por m³, era adecuado para conseguir una reducción significativa de las fugas, es decir, que con este aditivo las uniones empujadas que contenían cáñamo o yute se mantenían expansionadas y la pérdida de gas era mínima.

Otros métodos que se empezaron a trabajar para permitir la distribución del gas natural sin fugas fueron los que se dedicaban a dar un recubrimiento interno del tubo con materiales plásticos, como la inyección de una espuma que se pegaba a la pared y

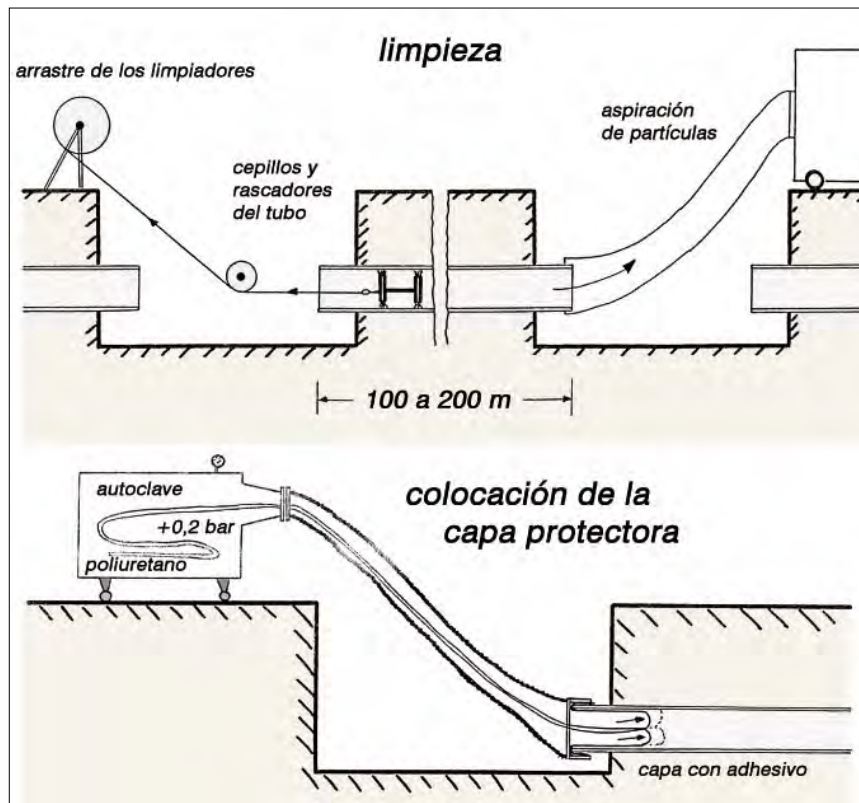


Esquema de una junta de cáñamo y plomo en un tubo de fundición gris. El cáñamo en contacto permanente con el gas manufacturado tenía una humedad que lo hinchaba y quedaba aprisionado entre el plomo y la fundición impidiendo, gracias también a la baja presión de trabajo, el paso del gas hacia el exterior (Fernández y Solís, 1987: 4).

endurecía, o introducir una masa plástica y mediante pistones dentro del tubo repartirla sobre la superficie interior del tubo.

A mediados de los años 1970 se empezó a utilizar una técnica de recubrimiento interno, con el propósito de que las uniones estuvieran libres de fugas. El procedimiento era limpiar el tubo en su interior mediante un pistón y luego recubrir el tubo internamente con una película de poliuretano. Este método se empezó a

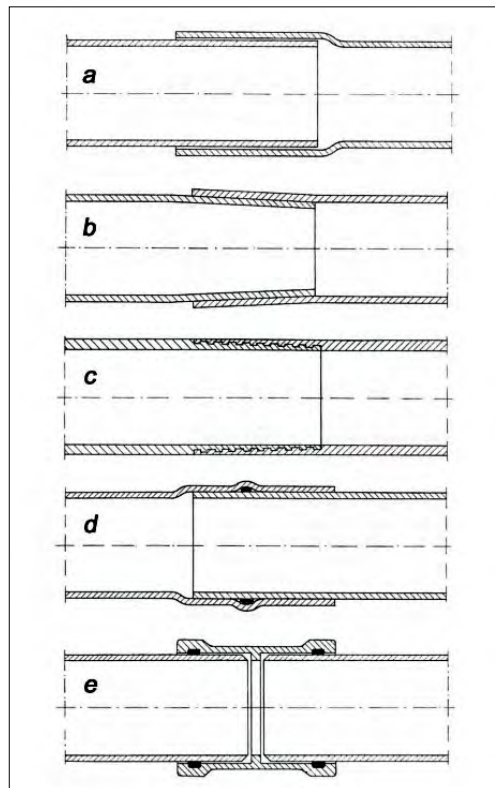
utilizar en Alemania, Gran Bretaña y Suiza, y a partir de los años 1980 se mejoró substancialmente esta técnica que permitía trabajar en tramos de hasta 200 metros. Otro método, que solo podía ser empleado únicamente en tubos de gran diámetro que permitían el paso de una persona en su interior, fue el de recubrir solo las uniones de forma manual, con productos plásticos que proporcionaban una capa de sellado interno que daba estanqueidad a la unión.



Esquema de instalación de un recubrimiento tubular protector de poliuretano en el interior de tubos de hierro o fundición (Ribes, 1987: 9-11).

Pero principalmente fue la ampliación de la red con nuevas canalizaciones y la sustitución de redes antiguas lo que introdujo mayores niveles de estanqueidad en la distribución. Inicialmente se utilizaron los tubos de PVC y fundición dúctil que fueron substituyendo las antiguas canalizaciones.

Pero a partir de 1980 el polietileno fue el más utilizado y substituyó al PVC. Su estabilidad química era su principal ventaja, así como su fácil manipulación y ejecución de las uniones. A finales de los años ochenta en España la fundición dúctil ya era una técnica en desuso y el polietileno era mayoritario en todas las nuevas instalaciones de baja presión. La menor dimensión de la zanja, necesaria para canalizar este material, era otra de las facilidades que proporcionaba, pero la principal problemática que se introdujo con el polietileno en las redes de baja presión fue las uniones entre los nuevos tubos de polietileno y los antiguos tubos de otro material, que debían cumplir con la misma la estanqueidad que las uniones entre polietileno.



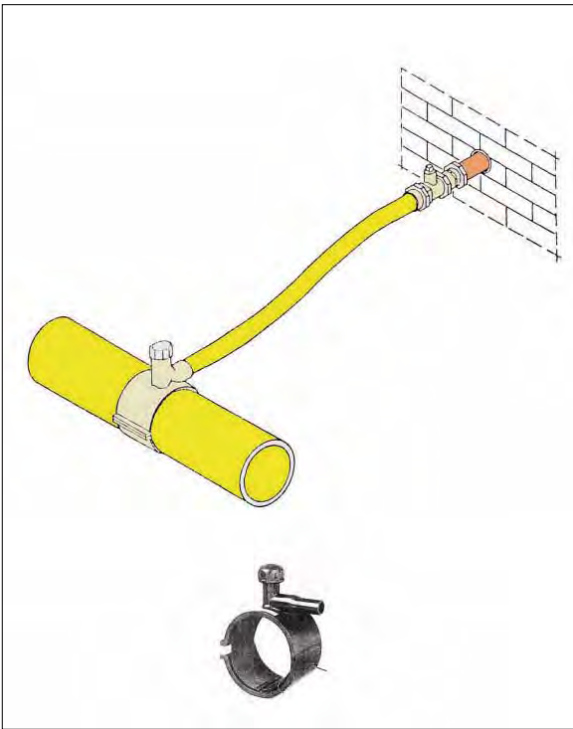
Modelos de uniones entre tubos de PVC: a=unión tradicional; b= unión cónica; c= junta cónica roscada; d= unión con junta; e= unión premoldeada con dos juntas (Gaikhurst, 1964: 2-4).



Sistema de obturación de tubos de gas de baja presión mediante balones hinchables que impiden el paso del gas y permiten efectuar trabajos de conexión o de sustitución.

Cuadro 9.13. Material empleado en tubos para distribución de gas en baja presión

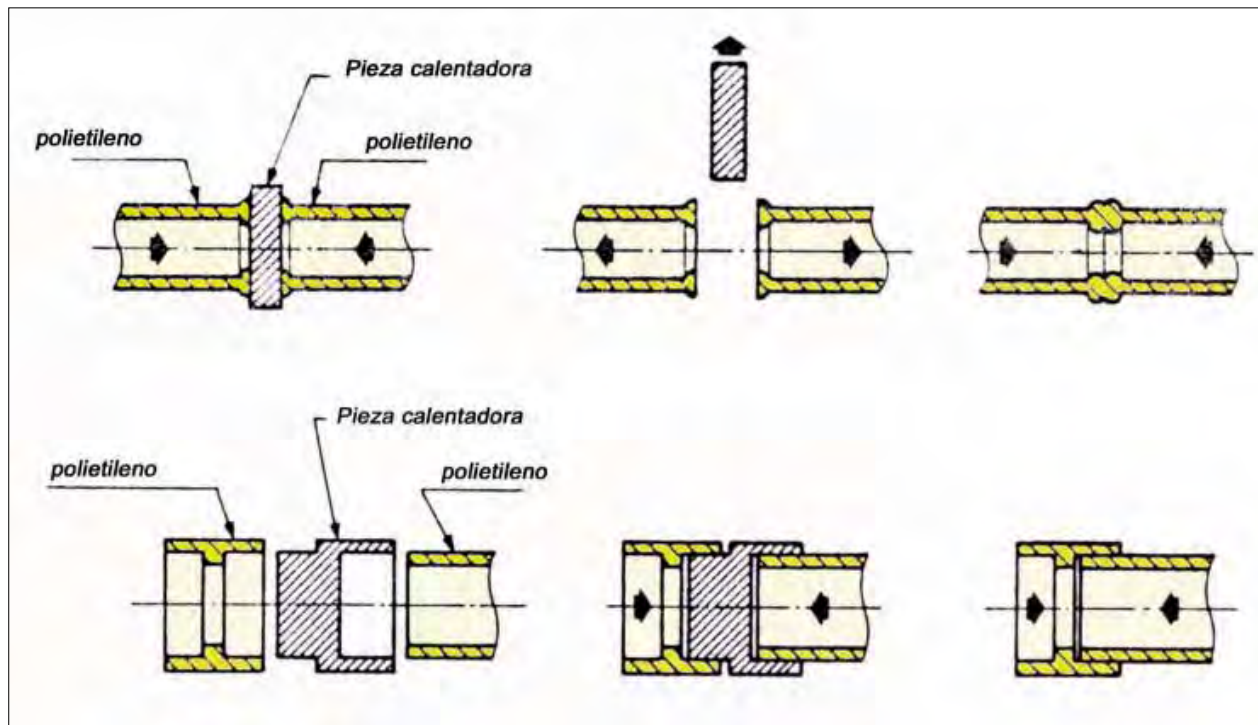
Antes de 1930	Entre 1930 y 1980	Desde 1980
Fundición gris	Plancha de hierro dulce encintado con PVC	Polietileno
Plancha de hierro dulce asfaltado	Fibrocemento	
	Fundición dúctil	
	PVC	



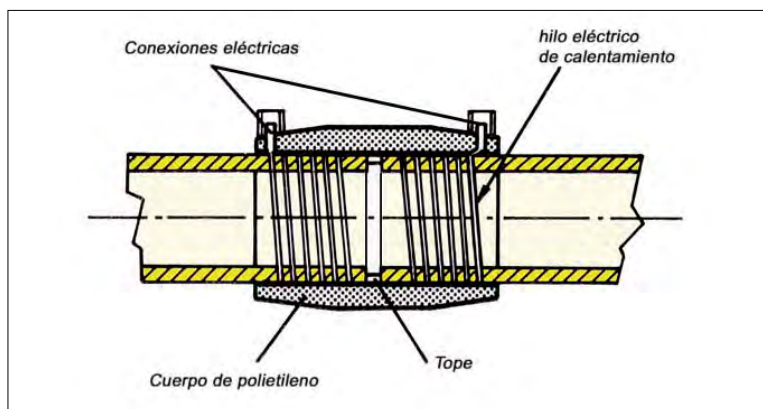
Conexión de una acometida de gas natural en baja presión efectuada con tubo de polietileno. El accesorio de conexión está preparado para que se pueda efectuar con gas circulando en el conducto principal (Juan, 1981: 14).

El polietileno es pues el único material utilizado en los últimos decenios. Este se puede fabricar –cuando los tubos son menores de 60 mm de diámetro–, en grandes longitudes, lo que permite canalizar y ahorrar uniones, pero estas, cuando son necesarias, son muy fáciles de realizar, aunque se ha requerido del desarrollo de una tecnología de accesorios particular.

La técnica de unión de tubos de polietileno fue desarrollada en Estados Unidos y Gran Bretaña. Los sistemas empleados eran dos: “butt fusion” o soldadura a testa, utilizada en tubos de gran diámetro y “socket fusion” o soldadura en enchufe. Inicialmente se calentaban unas piezas metálicas por medio de sopletes y estas se ponían en contacto con el polietileno para provocar su fusión parcial y luego se unían las dos piezas de polietileno. Actualmente la técnica ha evolucionado y los accesorios a empalmar llevan unos hilos eléctricos embutidos en la carcasa que aplicándoles el paso de una determinada corriente eléctrica durante un determinado tiempo, provocan el calentamiento del accesorio y del tubo a unir. La mayor precisión de estos accesorios hace unas soldaduras más fiables.



Tipos de uniones de tubos de polietileno “butt y socket fusion” (Capello, 1980: 125).



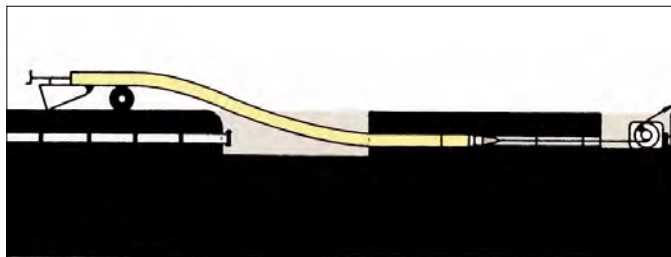
Unión de tubos de polietileno mediante accesorio con hilo eléctrico de calentamiento (Gaz d’Aujourd’hui, 1976: 688).

Si el uso del polietileno tuvo un notable desarrollo a partir de los años 1980, las válvulas de polietileno tardaron unos años en ser operativas. Fue una innovación esperada ya que las clásicas válvulas de hierro o de acero, no permitían un buen acoplamiento con la tubería de polietileno y su accionamiento se vislumbraba como un punto débil para la estanqueidad del conjunto. Pero también era importante asegurar la estabilidad dimensional de la válvula de polietileno, esta característica debía mantenerse ante cualquier eventualidad o desgaste, por ello este mecanismo tardó más tiempo en desarrollarse.



Canalización de una de las primeras tuberías de polietileno en baja presión instalada en España en el año 1980 en la ciudad de Sabadell (J.Mata).

Otra de las operaciones utilizadas, aunque no demasiado, ha sido la de reutilizar canalizaciones antiguas para servir como guía e introducir en su interior tubo de polietileno. Fue un recurso que se utilizó cuando la disminución de la sección que implicaba la colocación de tubos concéntricos, no representaba un problema. En concreto durante el año 1987 se realizaron en Madrid pruebas de canalización de tubo de polietileno aprovechando las tuberías de fundición gris instaladas en las aceras. Los tubos tenían 70 y 100 mm de diámetro. Aunque parecía un método relativamente fácil aprovechar el paso de la tubería, era más útil si no tenía acometidas, para poder acondicionarlo y eliminar puntos de fuga en las uniones (Gas Madrid, 1987: 6). Otro tipo de operación, como la que utilizaba un pistón que rompía el tubo antiguo dejando paso para uno nuevo, también se utilizó en las redes españolas.



Método de pasar tubo de polietileno dentro de tubos de fundición (Gas Madrid, 1987: 9).

9.3. El control de la red de gas canalizado

La introducción de gas natural originó una necesidad de información de la situación de la red y de sus parámetros de presión. Por esta causa se inició una actualización de las estructuras técnicas de recopilación y tratamiento de datos del suministro de gas natural para ejercer una óptima operación de la red. El control del proceso de fabricación de gas quedaba atrás y la necesidad de orientarse hacia la transformación del GNL y la distribución del gas era sin duda uno de los aspectos más destacados en este campo de operaciones.



Oficina de control de la red de distribución de Catalana de Gas en Barcelona año 1989-90 (J. Mata).

Las primeras informaciones permanentes que se recibieron para el control de la red de gas de Barcelona fueron del año 1970-72. Su soporte eran líneas telefónicas para cada uno de los puntos a controlar de la red de media presión: Sabadell, Terrassa, Premià, Mataró, y también Hospitalet y puntos de la red de la ciudad de Barcelona. Desde 1968 en Barcelona se había iniciado una reorientación del control de la red y las fábricas existentes.

En Barcelona, la primera máquina que se colocó específicamente para efectuar un seguimiento de la red se incorporó en el año 1982. Servía para procesar las informaciones que llegaban al centro de control, que se concretaban en las presiones de emisión de la fábrica de gas y de los centros de regulación de la red de alta presión y de la red de media presión. El procesamiento de los datos permitía conocer qué puntos se encontraban con una presión por debajo de la establecida y representaba una ayuda para establecer las actuaciones necesarias.

En Madrid, en el año 1986, desde la fábrica de Manoteras se suministraba a dos anillos que constituían la red de transporte de la ciudad y municipios colindantes. De esta red, a través de varias estaciones reguladoras de presión, se alimentaba una red intermedia, denominada de reparto, y mediante esta, a través de otros centros de regulación de presión se suministraba a la red de distribución de baja presión. Entonces todas las presiones de estos centros de regulación se transmitían al centro de control de Gas Madrid donde se procesaba la información y se conocía en cada instante el consumo de gas de las principales arterias y las presiones de emisión. En aquellos años la

fábrica procesaba nafta para obtener gas manufacturado, aún no había llegado a Madrid el gasoducto de gas natural, pero el control sobre la situación de la red ya era una herramienta imprescindible para el conocimiento del sistema.



Centro de control de fábrica de gas
(Catalana de Gas y Electricidad, S.A., año 1969).

La mejora de la conducción de la red se inició en 1990 con la instalación de un primer sistema de telecontrol de la red de Barcelona, dotado de estaciones remotas que proporcionarían medidas de la presión, el caudal, la temperatura, el estado de las principales válvulas de paso del gas y otros equipos situados en las estaciones de regulación. Las señales eran emitidas vía telefónica o por una red de radiofrecuencia propia. Fue el primer paso de una actualización de la red de gas y

se soportó técnicamente mediante sistemas de control probados en otras áreas, como la eléctrica. Proporcionó un gran conocimiento de la situación de la circulación de caudales por las cada vez más desarrolladas redes de gas natural.

La extensión del suministro de gas natural y principalmente la adopción de nuevas tecnologías han impulsado un cambio destacable en los sistemas de control de la red. Las instalaciones terminales de gasificación, las estaciones de compresión en la red de transporte y principalmente las estaciones de regulación y medida que alimentan la red de distribución, constituyen los puntos básicos de este control, y actualmente tienen la instrumentación necesaria para conocer las distintas medidas que se necesitan para la operación del sistema de gas natural: la presión del gas, la temperatura y el caudal de gas circulantes, así como la situación de funcionamiento de los equipos instalados.

Las medidas que se generan en estos puntos se centralizan en los centros de control a través de comunicaciones que durante el transcurso de los últimos años se ha desarrollado técnicamente de una forma excepcional y ha permitido ampliar el número de puntos controlados así como la velocidad de transmisión de la información. Han sido las nuevas tecnologías de la información utilizadas las que han permitido este progreso, el telecontrol con sistemas de comunicación cada vez más selectivos para acceder a una gran cantidad de información que, sin embargo, no se van a tratar por quedar fuera del ámbito de este trabajo.

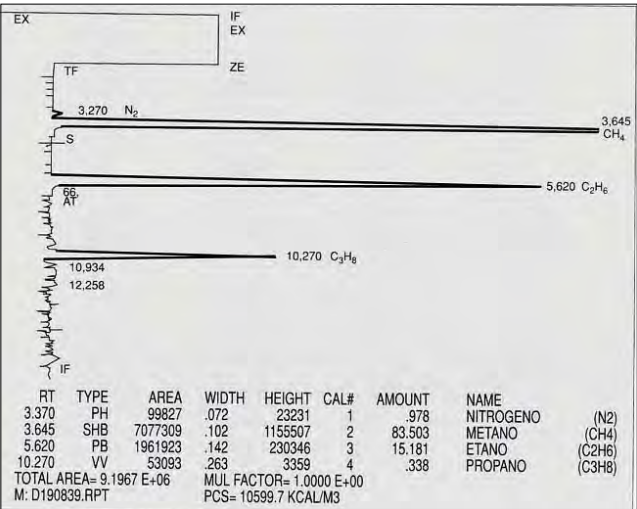
9. Estructuras de difusión y control del gas natural



Centro de control de distribución de Gas Natural en Barcelona, año 2008
(Gas Natural SDG, S.A., año 2008).

El centro de control es hoy el centro neurálgico de la explotación de la red y su misión supervisar todo el proceso de la planta de recepción de gas y las distintas redes de transporte, y distribución. Con el gas manufacturado, la fábrica de gas era lo más importante a controlar, mientras que la red de distribución no tanto. Hoy, con plantas de recepción de gas, estaciones intermedias y redes de transporte y distribución, el control se efectúa en todo el proceso. Por ejemplo para adaptarse a las necesidades de supervisión del proceso, el Centro de Control de Gas Natural ha sido reformado dos veces más desde que se instaló el primero en 1990. El nuevo Centro de Control data del año 2008. La tecnología de soporte permite que se puedan tener los datos “on-line” de más de 3.000 estaciones, que la calidad del gas se verifique mediante cromatógrafos y que las señales tengan vías

de acceso al sistema central mediante enlaces duplicados o redundantes para asegurar su continuidad y se permita poder resolver muy rápidamente cualquier incidente que ocurra en la red mallada con métodos de cálculo apropiados.



Información proporcionada por un cromatógrafo instalado en la red de gas natural que determina la composición de dicho gas, marcando la presencia de unos compuestos. En este caso tiene un 83,5 % de metano y un 15,18 % de etano, también detecta una pequeña proporción de nitrógeno y propano (SEDIGAS, 1991: 57).

Los antecedentes del control y supervisión de la red de distribución los encontraríamos en los pasos que se han ido dando desde 1973 cuando *Catalana de Gas y Electricidad* dispuso de su primer ordenador WANG para calcular el reparto teórico del caudal circulante por una red mallada de menos de 30 nudos y después otro ordenador IBM para calcular el flujo de gas por una red de mayor número de nudos. Con unos cálculos que se

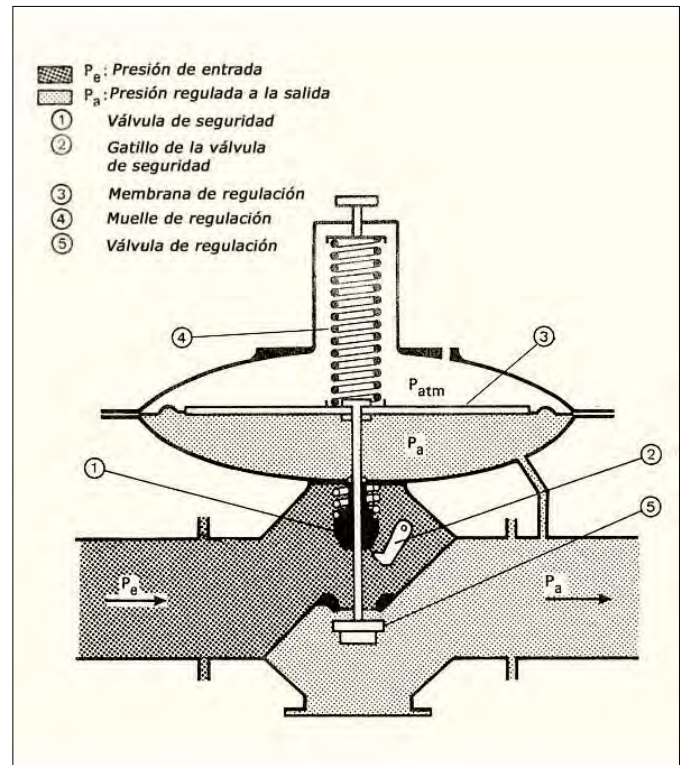
efectuaban mediante el método Combet, un sistema de cálculo utilizado en Suiza para redes de agua que se reconvirtió para redes de gas, fijándose la velocidad límite del gas a 20 metros por segundo, y aproximando la demanda en los nudos adaptada a los resultados del método de Kowarski (Roca Masgrau, 1971: 4). Posteriormente el método **iterativo**, de Hardy-Cross de cálculo de caudales en redes malladas ha sido el más utilizado.

Sin embargo no fueron estos ordenadores los primeros que utilizó la empresa, ya que en 1962 se instalaba el primer ordenador para facilitar la facturación del gas vendido. A destacar que fue el primer ordenador que se utilizó en España para usos comerciales, pero esto entraría en otros ámbitos que no contempla este libro.

9.3.1. La regulación de la presión

La red de distribución de gas natural funciona a distintas presiones que permiten imprimir la adecuada velocidad de transmisión del gas. El suministro de gas queda determinado por mantener la presión sin fluctuaciones y con pérdidas de carga bajo control. Sin embargo la distinta graduación de las redes de gas mediante la aplicación de distintas presiones implica tener que conectar unas redes con otras, redes de alta presión con redes de media presión, y redes de media presión con redes de baja presión, estas conexiones se efectúan mediante los reguladores de presión, unos mecanismos que además de transformar la presión de mayor a menor, regulan la presión menor para que se mantenga constante.

Un regulador de presión imprime una reducción de la presión de entrada hasta una presión de referencia menor, mediante una reducción del paso del gas, de forma independientemente del caudal circulante. Los reguladores no han variado su estructura durante las distintas etapas del suministro de gas, solo se han adaptado a la tipología del gas y a los materiales utilizados, tanto en la membrana como en los muelles.



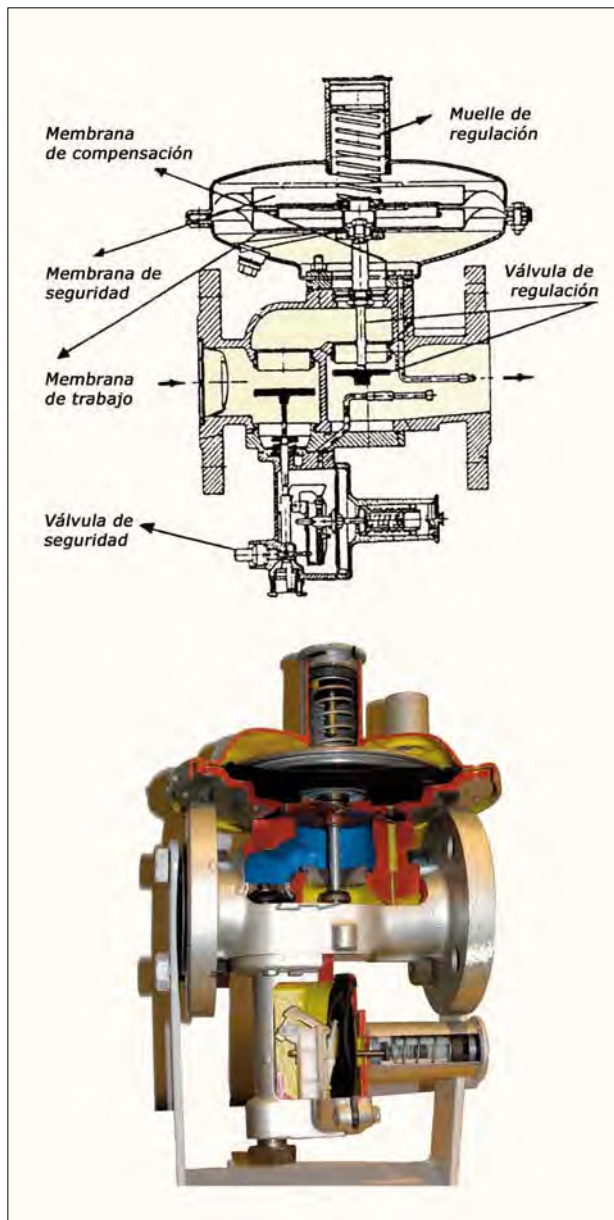
El regulador de presión trabaja con una presión P_a predeterminada y establecida por el muelle. Mediante este y la membrana, la menor o mayor presión que realmente tiene P_a hace que se abra y cierre la válvula 5 dejando pasar más o menos gas.

9. Estructuras de difusión y control del gas natural



Regulador de presión (Kromschroeder, S.A.).

El regulador de presión ha sido fundamental para la distribución de gas. Gracias a su sencillez el sistema sigue utilizándose en todos los suministros o en las conexiones entre dos redes de distinta presión. Sin embargo la tecnología ha implementado reguladores de presión que incorporan unas membranas para dar más fiabilidad al equipo ya que cubre la posibilidad de rotura de la membrana de trabajo, que es la que está permanentemente en tensión.



Regulador de media presión con membrana de seguridad (Kromschroeder, S.A.).

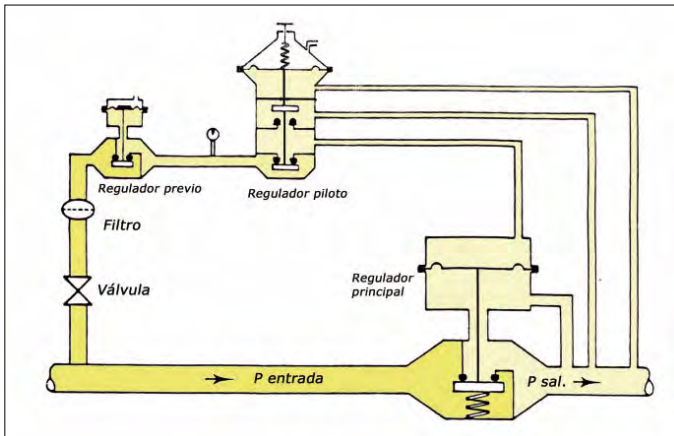
Reguladores de abonado con válvula de seguridad, de rearme automático que cortan el paso del gas si desciende la presión de salida por debajo de un límite establecido, ya sea por exceso de consumo o por falta de presión a la entrada.
Existen en dos versiones. En línea (axial) y en escuadra.



Los reguladores de abonado sirven para conectar la red de gas de la vivienda con la línea de suministro de gas a cada usuario (Gas Natural S.D.G.).

Los reguladores de las estaciones de regulación a causa del gran caudal que deben regular y las posibilidades de variabilidad de la presión tienen otro modo de trabajo. El control del

movimiento de la membrana de trabajo es indirecto no por muelle sino por otro regulador piloto como el montaje que se indica.



Esquema de funcionamiento de un regulador pilotado.
La abertura del regulador depende de la presión del regulador piloto. (SEDIGAS, 1989: 19)

9.3.2. Medida y conteo del gas natural

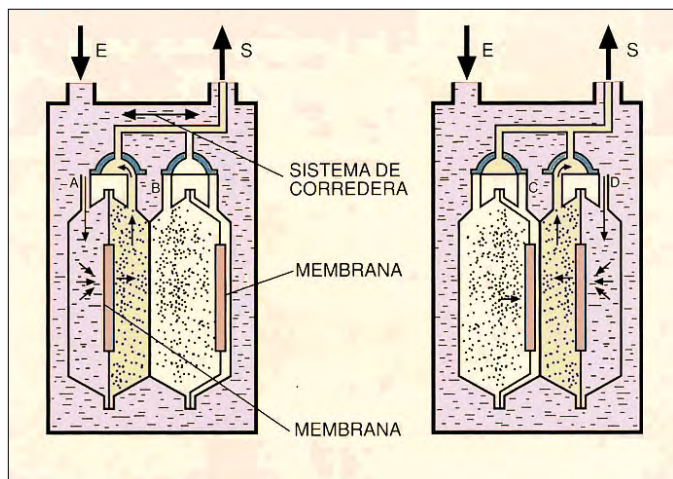
La medida del gas que circula por una tubería es uno de los procesos en los que se trabaja continuamente para disponer de equipos capaces de medir con rigor. El problema del contador de gas ha sido siempre mantener este rigor dentro del gran intervalo que existe entre el gas que consume, por ejemplo una llama piloto y el que consume un quemador de una caldera. Esta circunstancia, junto con el establecimiento de las conexiones por gasoductos entre países por los que circulan grandes caudales de gas, ha estimulado el diseño de contadores de cada vez mayor precisión. También el mayor consumo que se efectúa en la industria con el uso del gas

natural y el coste del mismo ha influido en la búsqueda. Así pues la exactitud de los contadores es el principal punto de trabajo para la aceptación de un sistema de medida de gases, tanto para caudales pequeños como para el caudal nominal del equipo.

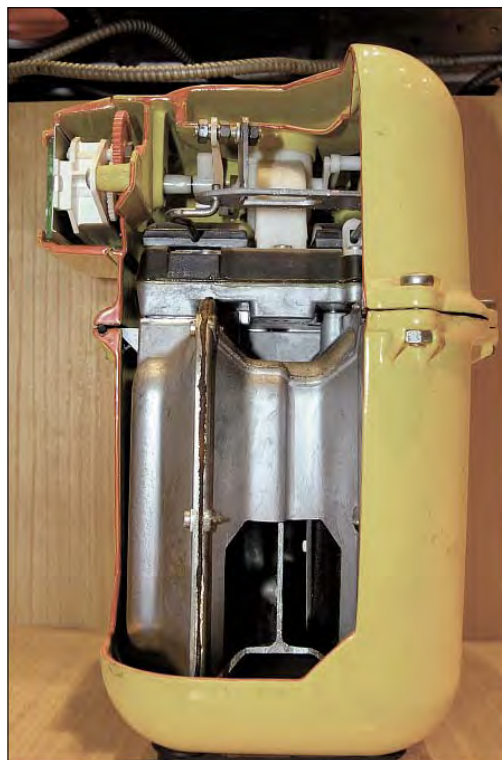
El desarrollo del contador desde su introducción en el siglo XIX ha sido largo, con equipos que se han desechado por sus errores o su mal funcionamiento. Se ha hablado de ello en el capítulo correspondiente, aquí nos limitaremos a tratar los contadores que se han utilizado en los últimos cuarenta años y principalmente los contadores de grandes caudales que han aparecido como consecuencia del uso industrial del gas natural.

En la actualidad para la medición del gas consumido por los usuarios se ha impuesto definitivamente el contador seco, también

conocido como **de membranas**. Un contador cuyo principio de funcionamiento data de los años 1910, en el que se fueron incorporando innovaciones. Una de las más importantes fue la substitución de la membrana trabajada con piel de cabra de India a membrana de caucho sintético. También se han incorporaron otros materiales utilizándose el plástico en lugar de aluminio, lo que en conjunto ha proporcionado una mayor fiabilidad al mecanismo. Sin embargo para caudales de mayor importancia y con presiones más elevadas los más extendidos son los contadores de pistones y los de turbina.



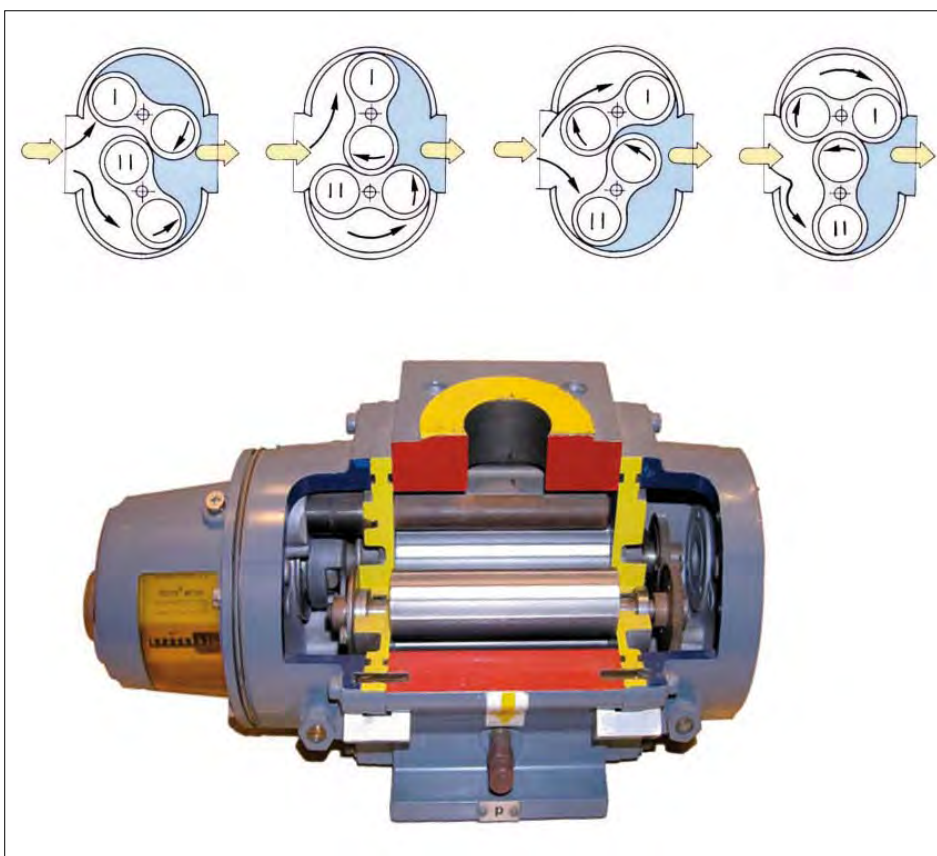
Funcionamiento del contador de volumen de gas mediante dos membranas que llenan y vacían el gas de unos recipientes (SEDIGAS, 1991:31).



Contador de membranas con depósitos de aluminio, fabricado hasta 1996 (Kromschroeder, S.A.).

El **Contador cicloidal** también se conoce con el nombre de **contador de pistones rotativos**. Fue utilizado mucho en líquidos, y se introduce en el mercado español para el conteo de gases a partir de 1990 como contador volumétrico, desplazando al contador de turbina en la medida de volúmenes pequeños. Su principal característica son los dos lóbulos que engranan entre sí girando en direcciones opuestas de forma que en cada vuelta siempre desplazan un volumen igual

de gas. Son útiles para caudales importantes pues en bajos caudales las holguras necesarias llegan a favorecer el error pero para funcionar necesitan una presión algo más elevada que la de 22 mbar utilizada en la baja presión. Su uso se ha extendido mucho pese a que en caso de avería el propio contador interrumpe la circulación de gas e imprime una cierta pérdida de presión al gas circulante. Este tipo de contador utiliza distintos tipos de formas para los pistones rotativos, el más extendido

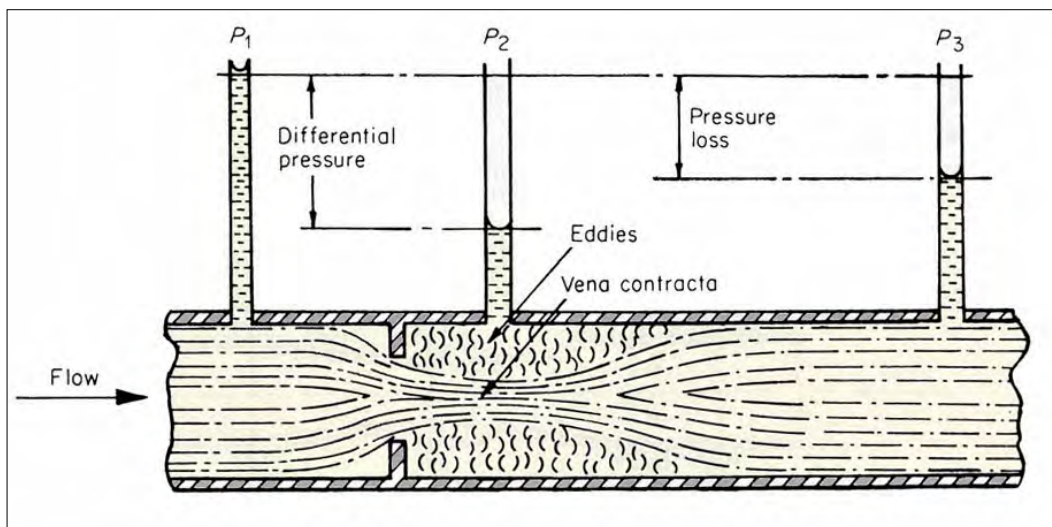


Contador de pistones rotativos (Kromschroeder S.A.) y funcionamiento del contador (SEDIGAS, 2004: 130).

es la forma conocida con el nombre de Roots. Estos dos contadores miden el volumen de gas que ha circulado en cada ciclo por los lóbulos de cada membrana ha pasado un determinado volumen, lo mismo que en los cicloidales. Pero existen otro tipo de contadores que no se basan en la medida del volumen del gas sino en otros fenómenos físicos medibles que pueden proporcionar el caudal de un fluido gaseoso.

Uno de ellos es el **diafragma calibrado**, un contador basado en un teorema físico que mide la diferencia de presión existente entre dos puntos en medio de los cuales se ha colocado un diafragma o placa con un orificio. La diferencia de presión es propor-

cional según las leyes de la física al caudal que circula por el punto del orificio. Un método de medida muy empleado por su bajo coste, sin embargo, los errores producidos con caudales muy bajos ha comportado que solo se utilice en instalaciones que van a mantener un caudal alto. En los años setenta un perfeccionamiento de este contador constituyó el uso de un tubo Venturi, más adaptado a la medida del caudal pero, como el anterior, no se podía utilizar en consumos cuya reducción bajase de una cuarta parte del consumo máximo, por los errores que presentaba. Prácticamente solo se utiliza en gasoductos de gran diámetro como el siberiano y deben de corregirse las medidas con los parámetros de presión y temperatura.



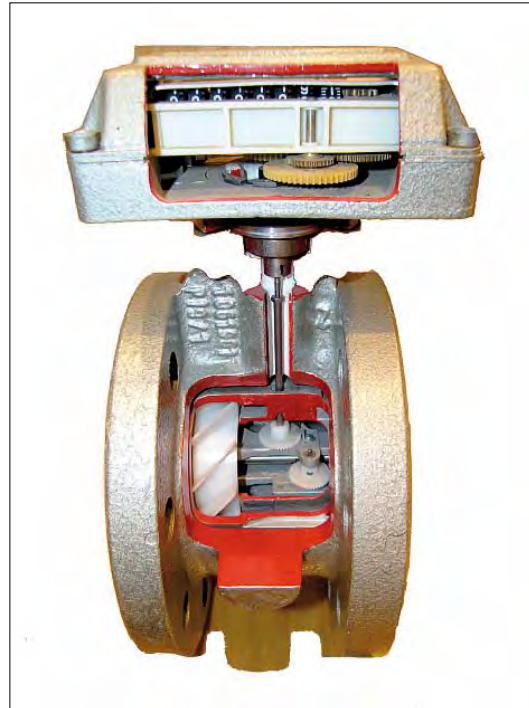
El principio de la medida con una placa orificio o diafragma calibrado es la diferencia de presiones que aparece entre P1 y P2 por la influencia de dicho diafragma

Fuente: Hayward, 1979: 24.

Desde los años 1970 los **contadores de turbina** son los más extendidos para registrar grandes caudales de gas. Este tipo de contador ya fue fabricado a principios del siglo XX pero no tuvieron aceptación a causa de que el gas utilizado, el gas de hulla, que contenía impurezas y humedad llegaba a dar problemas a los rodamientos, que eran el punto débil del aparato. Este tipo de contadores siempre ha sido similar, son turbinas de flujo axial que transmiten su movimiento giratorio a un totalizador de medida. Desde la segunda mitad del siglo XX se fueron desarrollando con mejores prestaciones y hoy, con la distribución de gas natural son de gran fiabilidad. Consisten en un rotor con álabes que gira impulsado por el gas circulante que es la base de este tipo de contador. Se mide velocidad y se transforma a la medida más idónea, m³ o kWh.

Los contadores de turbina se construyen para caudales de 200 m³/hora hasta de 20.000 m³/hora. Es el tipo que más se aceptó en la medición de gases en interconexiones entre compañías de gas por su gran precisión, estabilidad de funcionamiento y la amplitud del campo de medida, sin embargo necesitan controles periódicos por ser mecánicos y por su poca inercia son sensibles a cambios bruscos de caudal. Pueden estar funcionando a pequeñas presiones de 1 bar y también a altas presiones de 80 bars.

No obstante este contador tiene su aplicación solo para sistemas secos, es decir sin humedad en el gas que pueda llegar a congelar y provoque un paro en el sistema de conteo.



Contador de turbina con el conjunto medidor en su parte superior (Kromschroeder, S.A.).

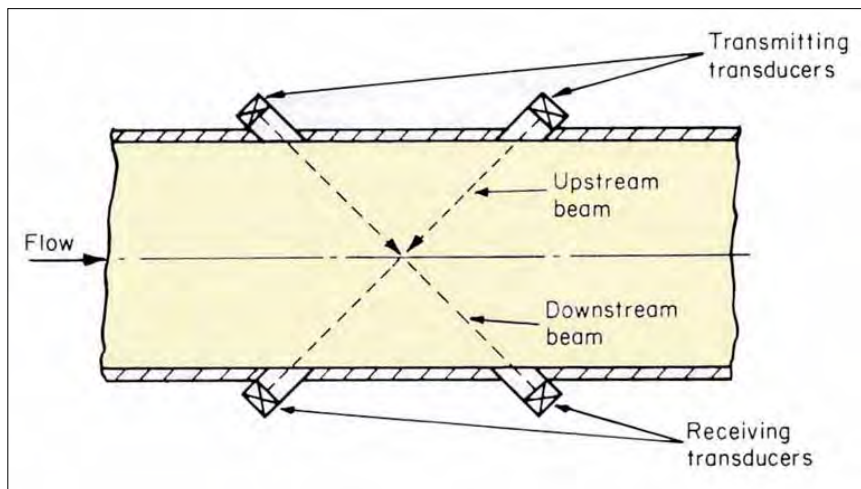
El avance en distintos ámbitos de la tecnología de control impulsó la creación de otros contadores que aparecieron en los años 1970 como consecuencia del desarrollo del gas natural. Fueron medidores indirectos, es decir, no se medía el caudal circulante sino que este se obtenía por una transformación de la medida realizada. Alguno de los que tuvieron mayor difusión fueron los **contadores Vortex**, basados en la detección de la frecuencia de los torbellinos –vórtices– que se producen en el fluido al pasar por un obstáculo. Esta tecnología empezó a considerarse en los años 1930 en aeronáutica y posteriormente

se trasladó a la industria de medición de caudales. Los torbellinos en el fluido tienen la propiedad de originar variaciones de presión y velocidad cuya frecuencia es proporcional al caudal. Detectar esta frecuencia es tener una medida indirecta del caudal. Su precisión es alta y está exento de mantenimiento, pero no ha tenido demasiada aceptación.

Otro contador es el de **ultrasonidos**, utilizado en la medida de líquidos desde mediados de los años 1970 y que en los años 1980 se empezó a aplicar en los gases. El sistema mide la velocidad del gas mediante dos captadores de ondas de ultrasonidos que se desplazan en el caudal del gas y que por diferencia entre uno y otro se llega a conocer su velocidad. Este contador no tiene desgaste mecánico ni pérdida de carga en el gas circulante, además, los cambios bruscos de caudal no le afectan.

En los contadores uno de los parámetros importantes es la relación entre el caudal mínimo y el caudal máximo que debe registrar sin errores el contador. Esta ha sido una circunstancia que ha conducido a desechar sistemas que eran adecuados pero solo en un margen pequeño del valor nominal del aparato. También una pérdida de presión del contador es negativa para su utilización, igual que lo es el mayor o menos mantenimiento que deba tener.

Sin embargo, el gas es un conjunto de compuestos químicos que representan una energía potencial, en su medición se evalúa por el volumen circulado, pero, la energía contenida en el mismo no varía aunque la presión o la temperatura del gas si lo hagan. Por ello la ecuación general de gases *presión x volumen = constante x temperatura* indica



(Hayward, 1979: 73).

que el volumen de un gas está vinculado siempre a unas determinadas condiciones de presión y temperatura, o dicho de otra forma, el volumen depende de la presión y la temperatura. Cuando aumenta la temperatura aumenta el volumen y cuando aumenta la presión disminuye el volumen. Los contadores que miden volumetría deben tener las correcciones oportunas para establecer el volumen en condiciones normales.

Esta corrección del volumen se viene aplicando desde hace años a causa del notable incremento de consumo de gas y, según el tipo de consumo se utiliza solo la temperatura, otras veces la presión y la temperatura, o incluso todo: la presión, la temperatura y la compresibilidad del gas que también influye en el volumen a medir. Con el gas manufacturado los consumos eran normalmente pequeños y no se necesitaban estas correcciones, pero en la medida que se han incorporado industrias que consumen mucho gas, y las interconexiones entre distintas redes, han propiciado que se apliquen.

Ya se ha indicado anteriormente que en las redes de transporte de gas se han incorporado junto a los equipos de contaje, otros equipos que revisan la calidad del gas, como los cromatógrafos, que permiten saber los componentes del gas circulante y por tanto la energía que este gas es capaz de proporcionar. Después de todo lo indicado, ya se comprende que el gas natural ha modificado todo un sistema de control que antaño era muy sencillo, pero que actualmente requiere una mayor supervisión de todos sus parámetros.

Bibliografía

ALAYO MANUBENS, Joan Carles (2000), *La introducció del gas l'electricitat a Sabadell, 1852-1930*. Sabadell: Fundació Bosch i Cardellach.

ALAYO MANUBENS, Joan Carles (2000), *El gas i l'electricitat a la vila de Vilafranca del Penedès*. Vilafranca del Penedès: Ajuntament.

Album, 1907: *Album Gaz*. Pont-à-Mousson : Société des Hauts-fourneaux et Fonderies, 1907.

ALVAREZ PELEGRY, Eloy y BALBAS PELÁEZ, Jacobo (2000), *El Gas natural : del yacimiento al consumidor*, Madrid: Dossat.

AMERICAN GAS ASSOCIATION (1985), *Plastic pipe manual for gas service*. Arlington: American Gas Association.

AMERICAN GAS ASOCIATION (1965), *Gas Engineers Handbook – Fuel gas engineering practices*, New York: The Industrial Press.

ANDRESS, D.L. (1996), *The Phillips optimized cascade LNG Process, a quarter century of improvements*. New York: American Institute of Chemical Engineers.

ARGB (s/f ; c.1990), *Pourquoi le gaz naturel?* Bruselas: Association Royale des Gaziers Belges.

ARROYO, Mercedes (1992), “La Propagadora del Gas de Gracia: Articulación del territorio y administración municipal” *Scripta Vetera. Edición Electrónica de Trabajos Publicados sobre Geografía y Ciencias Sociales*, <http://www.ub.es/geocrit/sv-53.htm>. Publicado originalmente en: Ciudad y Territorio, nº 94, (número en homenaje al profesor Antonio Bonet Correa) 1992, 61-77 [ISSN 0210-0487].

ARROYO, Mercedes (1998), “El gas en un municipio del pla de Barcelona. Sant Andreu de Palomar (1856-1923)”. *Scripta Vetera. Edición Electrónica de Trabajos Publicados sobre Geografía y Ciencias Sociales*, <http://www.ub.es/geocrit/sv-54.htm>. Reproducido de: CHECA, M. (Coord.) Sant Andreu, de poble a ciutat (1875-1936). Barcelona: Centre d'Estudis Ignasi Iglèsies, 1998, 49-60 [ISBN 1130-0272].

ARROYO, Mercedes (2000), “Tècnics i tecnologia de gas a la Catalunya del segle XIX”. *Quaderns d'Història de l'Enginyeria*, vol. IV, 2000, 57-94.

ARROYO, Mercedes (2002), “El gas de Madrid y las compañías de crédito extranjeras en España, 1856-1890”. *Scripta Nova. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales*, <http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-131.htm>, vol. VI, nº 131, 15 de diciembre.

ARROYO, Mercedes (2003), “Gas en todos los pisos. El largo proceso hacia la generalización del consumo de gas”. *Scripta Nova. Revista electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, vol VII, nº 146 (135), 1 de Agosto.

ARROYO, Mercedes (2006), “Los cambios en el proceso de producción y de distribución de gas en Barcelona y su hinterland (1930-1961). Entre el gas de hulla y el gas natural”. *Scripta Nova Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, vol. X, n° 218 (29), 1 de Agosto.

ASSOCIATION TECHNIQUE DE L'INDUSTRIE DU GAZ EN FRANCE (1960), *Monographie des gazomètres*. Paris: Journal des industries du gaz, Imprimerie Barnéoud.

ASSOCIATION TECHNIQUE DE L'INDUSTRIE DU GAZ EN FRANCE (1968), *Manuel pour le transport et la distribution du gaz*. Paris : Société du Journal des Usines à Gaz, vol. I.

ASSOCIATION TECHNIQUE DE L'INDUSTRIE DU GAZ EN FRANCE (1999) *Aide-mémoire de l'Industrie du Gaz*. Paris: Association Technique de l'Industrie du Gaz en France.

ASSOCIATION TECHNIQUE DE L'INDUSTRIE DU GAZ EN FRANCE 1985-1987a: *Manuel pour le transport et la distribution du gaz. Aspects techniques, juridiques et économiques de la chaîne gazière de la production à la distribution*. Paris: Association Technique de l'Industrie du Gaz en France, (1985-1987), vol II.

ASSOCIATION TECHNIQUE DE L'INDUSTRIE DU GAZ EN FRANCE 1985-1987b: *Manuel pour le transport et la distribution du gaz. Matériaux utilisés pour les canalisations de transport et de distribution*. Paris: Association Technique de l'Industrie du Gaz en France, (1985-1987), vol VI.

ASSOCIATION TECHNIQUE DE L'INDUSTRIE DU GAZ EN FRANCE 1985-1987c: *Manuel pour le transport et la distribution du gaz. Matériels divers des réseaux de transport et de distribution*. Paris: Association Technique de l'Industrie du Gaz en France, (1985-1987), vol II.

ASSOCIATION TECHNIQUE DE L'INDUSTRIE DU GAZ EN FRANCE 1985-1987d: *Manuel pour le transport et la distribution du gaz. Traitement du gaz naturel en vue du transport et de la distribution*. Paris: Association Technique de l'Industrie du Gaz en France, (1985-1987), vol IV.

ASSOCIATION TECHNIQUE DE L'INDUSTRIE DU GAZ EN FRANCE c.1970: *Épreuves des canalisations de transport de gaz*. Paris: Association Technique de l'Industrie du Gaz en France, c.1970.

AUDOUIN, Paul ; BÉRARD, Paul (1862), “Étude sur les divers becs employés pour l'éclairage au gaz et recherches des conditions les meilleures pour sa combustion”. *Annales de chimie et de physique*, serie 3^a, n° 65, 423-485. Paris, Masson et fils.

BACH, Wilfried A. (2002), “Developments in the Mixed Fluid Cascade Process (MFPC) for LNG Baseload Plants”. *Reports on Science and Technology*, n° 63. Munchen: Linde.

BAQUÉ i PONS, M. Carme; CLARÀ i ARISA, Jaume; PUJOL i ARDERIU, Ester (1993) *El foc engabiàt. Les cuines econòmiques catalanes al tombant del nostre segle*. Barcelona: Associació d'Enginyers Industrials de Catalunya. Col·lecció Techne, n° 5.

BARBE, Ferdinand (1910), *Traité pratique de la pose et l'entretien des canalisations de gaz*. Paris: Bibliothèque pratique du gaz.

- BARCA, Francesc et. al. (1993), “La invenció del gasogen d’aspiració. Jaume Arbós i Tor (1824-1882). Un científic oblidat”. *II Trobades d’Història de la Ciència i de la Tècnica*. Barcelona: Societat Catalana d’Història de la Ciència i de la Tècnica, 123-130.
- BARRY-KING, Hugh (1984), *New Flame*. Devon: Graphmitre Limited.
- BASÁÑEZ VILLALUENGA, Juan Manuel (1972), *Incréments des consommations dans le marché domestique lors du programme de conversion á gaz naturel*. La Haya : Rapport 11-4 au Colloque International de marketing gazier.
- BEAUJOUAN, Guy (1954), “Philippe Lebon a-t-il été assassiné?”. *Les Cahier Haut-Marnais*, nº 39, 4º trimestre, 164-168.
- BENET, Joseph (2008), *Memòries I. De l’esperança a la desfeta 1920-1939*. Barcelona. Edicions 62.
- BERDONCES FERNÁNDEZ, Pedro (1976), *La optimización de instalaciones de Producción*. Mallorca: Asamblea Nacional del Gas.
- BERDONCES FERNANDEZ, Pedro (1982), *Perspectivas del gas manufacturado en España*. Zaragoza: VIII Asamblea Técnica de Gas.
- BERDONCES, Pedro y BOU, José (1971), *Proceso cíclico para la fabricación de gas partiendo de hidrocarburos*. Patente de invención nº 893415, CGE, S.A.
- BERLANSTEIN, Lenard R. (1991) *Big Business and Industrial Conflict in Nineteenth-Century France*. A Social History of the Parisian Gas Company. Berkeley: University of California Press.
- BERNAT, Pasqual (2003), “Jaume Arbós i Tor: Científic i tecnòleg osonenc del segle XIX”. *Ausa*, XXI, 151 (2003), 51-74. Vic: Patronat d’estudis osonencs.
- BERNILSMACH, Josep Maria (1977) *Figueres*. Figueres: Centre d’Iniciatives Turístiques.
- BIARD, M.; GRANGETTE, M. (1926) *Distribution et utilisation du gaz*. París: Librairie de l’enseignement technique, Léon Eyrolles, éditeur, vol. I.
- BIARD, M.; GRANGETTE, M. (1926), *Distribution et utilisation du gaz*. París: Librairie de l’enseignement technique, Léon Eyrolles, éditeur, vol. II.
- BORIAS, Edmond (c.1890), *Traité théorique et pratique de la fabrication du gaz et de ses divers emplois à l’usage des ingénieurs, directeurs et constructeurs d’usines á gaz*. Paris: Librairie Polytechnique Baudry et Cie.
- BOSKO, Charles (1957), *Physique, chimie et mécanique du gaz de ville*. Genève, 3ª ed.
- BRACHET 1926 a: *Appareils pour l’emploi du gaz*. Brachet, Pravaz, Richard & Cie Cuisine, Chauffage, Industrie. Anciens Etablissements CH. André & Cie. Lyon: c.1926.
- BRACHET 1926 b: *Appareils pour l’emploi du gaz: réchauds et cuisinières*. Lyon: Brachet, Richard & Cie, 1926.
- BRACHET, 1932: *Etablissements Brachet & Ricard Lyon Paris. Appareils de cuisine et de chauffage au gaz et au charbon*, c. 1932.
- BRAGULAT, Anna (1990), “*The King’s Treatise on the science and practice of the manufacture and distribution of coal gas* y el gasómetro telescópico de la fábrica de la Barceloneta”. *Cuadernos de Historia*, nº 15, Marzo, 2-16.

- BRAGULAT, Anna M (1991), “El alumbrado público de Barcelona elogiado por Pascual Madoz”. *Cuadernos de Historia*, nº 23, Enero, 2-15.
- BROME, J.S.S.; KING J.G. (1946), *Combustibles sólidos, líquidos y gaseosos*. Madrid; Escuela de Minas.
- BRENDENG, Einar; HETLAND, Jens (2004), “State of the art in liquefaction technologies for natural gas”. En: *Security of Natural Gas Supply through Transit Countries*. Kluwer Academic Publishers.
- BRETON, J.-L.; y MORTIER, Raoul (1934), *Nouvelle Encyclopédie des Grandes Inventions Modernes*. Strasbourg: Editorial Argenton.
- BRITISH PETROLEUM, (1972), *Gas Making & Natural Gas*. Londres: British Petroleum.
- BROWN, Kenneth et. al. (s/f) *Almacenamiento de gas natural*. Oilfield Review.
- BUTANO S.A. (1977), *XX años de historia*. Madrid.
- CALDER, Ritchie (1958), *La ciencia tiene sentido*. Buenos Aires: Editorial Sudamericana.
- CALZAVARA, V. (1908) *Motores de gas, de alcohol y de petróleo*. Barcelona: Gustavo Gili, ed.
- CAMBRONERO SOLÉ, Joan (1983), *Planta satélite de GNL con control y mando a distancia*. Barcelona: IX Asamblea Técnica de Gas.
- CANALS, (s/f:), *Mechero invertido para alumbrado interior*. Barcelona: Incandescencia Española. Vda de Enrique Canals
- CAPELLO, Secondo (1984), “Il polietilene nelle reti di distribuzione gas”. En: *Il contributo delle nuove tecnologie per lo sviluppo del metano negli anni 80*. Porto d’Ischia.
- CARDELÚS CARRERA, Miguel (1960), *Momento Actual de la Petroquímica*. Discurso inaugural del curso académico 1960-61. Barcelona: ETSIIB.
- CARMONA ELIZALDE, Luís; VELASCO SAN PEDRO, José Antonio (1990) *Desarrollo de un almacenamiento subterráneo de gas natural en los yacimientos de Serrablo*. Santander: XVI Asamblea Nacional del Gas.
- CATALANA DE GAS (1987), *Estudio de los efectos de un cambio de gas en redes, instalaciones receptoras y aparatos de utilización*. Proyecto OCIGAS 1987. Barcelona ; Catalana de Gas S.A.
- CHEN, Keith A. (1974), “Evolution of the use of plastic piping for gas distribution in the USA”. En: *Proceedings of the fifth plastic pipe symposium*. Texas.
- CLAMOND, 1902: *Estufas Clamond*: privilegiados con patentes de invención. Madrid: Compañía Española de Luz y Calor 1902-1903.
- CLARK, Leslie J. (1967) *Report of the subcommittee on transport and storage of liquefied natural gas and liquefied petroleum gas*. Hamburgo: 10th International Gas Conference.
- CLAVEL, Jean (1998), “Le développement de l’industrie gazière à travers les innovations technologiques”. *Gaz d’Aujourd’hui* ; 1998 - p.138
- CLEGG, SAMUEL (1860), *Traité Pratique de la fabrication et de la distribution du gaz d’éclairage et de chauffage*. París: Librairie Scientifique, Industrielle et Agricole.
- Congrès, 1990: *Congrès International de l’Industrie du Gaz*. Compte rendu des travaux, publié par les soins de la Société technique de l’industrie du gaz en France. París: imp. de la Société anonyme de publications périodiques, 1900.

CORNOT-GANDOLPHE, Sylvie (1995), *Underground Gas Storage in the World. A new era of expansion*. Rueil-Malmaison: Cedigaz.

CUCO PARDILLOS, Federico (1990), *Planta de Aire Metanado en Valencia de funcionamiento automático y controlada por microprocesador*. Santander: XVI Asamblea Nacional del Gas.

CURT, Bob (2004), *Marine Transportation of LNG*. Qatar Gas.

DARCEL, M. (1978), *Mémoire sur l'éclairage des villes*. París: Dunod.

DARTIGALONGUE, J; TERCINET, G. (1967), *Evolution en France de l'emploi de l'acier comme matériau constitutif des réseaux de distribution*. Hamburgo: 10ème Congrès International de l'Industrie du Gaz.

DE LA REGUERA, R.F.; RIVAS, J.L.; LEGATOS, N.A. ; MARCHAJ, J. (1974), *An 80.000 m³ Double Prestressed Concrete Wall LNG Tank: Its Design, Construction and Commissioning*. Texas: *Proceedings of the Fifth plastic pipe symposium*.

DELBOURG, Paul et LAFON, Jean (1971), *Interchangeabilité des gaz*, París: Société du journal des usines a gaz.

DE LLANÇA SICART, Roberto (1993) *Situación actual de las técnicas de medición de grandes caudales de gas natural*. Sitges: XVIII Asamblea Nacional del Gas.

DEMENGÉ, Emile (1904), "Le Gaz à l'eau et ses principales applications" *Revue générale des Sciences pures et appliquées*, tomo XV, 71-83.

DENAYROUZE (1900), *Becs & appareils. Compagnie d'éclairage Denayrouze*. Exposition Universelle, Noviembre, 1900.

DERRY, T.K.; WILLIAMS, Trevor, I (1980), *Historia de la tecnología*. Madrid: siglo XXI, vol. II.

DESCHAMPS, Jules (1902) *Gazogènes*. París: Dunod éditeur.

Determinación, 1931: *Determinación del diámetro de las tuberías y de la capacidad de los contadores de gas para las instalaciones interiores*. Traducido por Ramiro DELGADO ALVAREZ con la autorización del Journal des Usines à Gaz y de la Société du Gaz de París, 1931.

DIRECTOR, 1970: Director-Presidente del Sindicato Nacional de Agua, Gas y Electricidad. *La industria de gas en España en cuadros y gráficos (Período 1964-1969)*. Madrid: Sindicato Nacional de Agua, Gas y Electricidad, 1970.

DOMER, F. (1898), *L'incandescence par le gaz et le pétrole. L'acétylène et ses applications*. París: Bernard Tignol, éditeur.

DRUG, V. (1967), *Mise en marche et réglage automatique d'une station intermédiaire de turbocompresseurs*. Hamburgo: 10ème Congrès International de l'Industrie du Gaz.

DuBARRY THOMAS, Williams ; SCHWENDTNER, Alfred H. (1971), *LNG Carriers : The Current State of the Art*. New York : The Society of Naval Architects and Marine Engineers. Annual Meeting, november 1971.

DUFRESNE, J.P., DE BARMON, A. et RENARD, F., "L'usine de licuefacción de gaz naturel de Skikda", *Revue Française de l'Energie*, vol 25 – nº 257, oct-nov 1973.

ECHÁNIZ PÉREZ, Gabriel (1989,) *Un cambio a aire propanado. Despedida al gas de gasógeno*. Sevilla: XV Asamblea Nacional del Gas.

El Progreso, 1927: Gasómetros exentos de agua. Construcción y resultados de servicio de los gasómetros de la Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg A-G.” *El Progreso de la ingeniería: revista mensual por el Verein Deutscher Ingenieure*, vol 8, nº1, Enero 1927, 7-8.

ELLIOTT, Charles (1980), *The History of natural gas conversion in Great Britain*. Londres: Cambridge Information and Research Services Ltd. British Gas Corporation.

ELTON, Artur (1958), “Gas for Light and Heat”. En: SINGER, C.; HOLIMYARD, E. J.; HALL, A.R.; WILLIAMS, T.I. *A History of Technology*. Oxford: Clarendon Press, vol. IV, 258-276.

ENGERRAND, Jean (1973) “Les techniques françaises de méthaniers”. *Gaz d’Aujourd’hui*; 1973 – p.273

ESTEBAN PARGA, Francisco Javier (1978), *El Futuro del gas manufacturado, elección del proceso de producción*. Málaga: Asamblea Nacional del Gas.

EUROGAS (1993), *El gas natural. Una energía más limpia para una Europa más verde*. Bruselas: EUROGAS.

FÀBREGAS VIDAL, Pedro A. (1980), “El Sector Gas. Situación y desarrollo en el contexto autonómico”. *I Jornadas de Estudios Socioeconómicos de las Comunidades Autónomas*. Sevilla, Abril 1980.

FÀBREGAS VIDAL, Pere A. (1993), *Un científico catalán del siglo XIX: José Roura y Estrada (1787-1860): enseñanzas técnicas y alumbrado de gas en la modernización del país*. Barcelona: Gas Natural, Enciclopèdia Catalana.

FÀBREGAS, Pedro A. (2003), *La Globalización en el siglo XIX: Málaga y el gas*. Sevilla: Ateneo de Sevilla-Universidad de Sevilla.

FALGUERAS, J. *Una industria centenaria. Ejemplar mecanografiado*. Archivo Fundación Gas Natural Fenosa.

FALKEVICH, A.S.; SERGEEV, L.P.; ZAITSEV, K.L. (1967), *Automatic welding and non-destructive tests on weld joints under field conditions on gas mains and field pipelines in the USSR*. Hamburgo: 10th International Gas Conference.

FALKUS, M.E. (1967), “The British Gas Industry before 1850”. *The Economic History Review*, New Series, vol. 20, nº. 3, Diciembre, 492-508.

FARRAR, W.V. (1969), “Richard Laming and the coal-gas industry, with his views on the structure of matter”. *Annals of Science*, vol. 25, nº 3, Septiembre, 243-253.

FAYOL, Amédée (1943) *Philippe Lebon*. París: Les publications techniques.

FERNANDEZ MONTERO, Rogelio (1980), *Inspección en recipientes esféricos para almacenamiento de gas*. Oviedo: VI Asamblea Técnica de Gas.

FERNÁNDEZ MONTERO, Rogelio; SOLÍS MARZAL, Juan Miguel (1987), *Acondicionamiento del gas con monoetilenglicol (MEG)*. Madrid: XIII Asamblea Nacional del Gas.

FERNÁNDEZ PARADAS, Mercedes (2008), *Empresas y servicio de alumbrado público por gas en España (1842-1935)*. Murcia: IX Congreso Internacional de la Asociación Española de Historia Económica. <http://www.um.es/ixcongresoaehe/pdfB15/Empresas%20y%20servicios.pdf>.

FIGUIER, Louis (1873-1877), *Les merveilles de la science ou description populaire des inventions modernes*. París: Libraire Fourne, Jouvett et Cie, éditeurs.

FRANCIS, Wiffrid (1969), *Los combustibles y su tecnología*. Madrid: Urmo.

GAIKHORST, G. (1964), *The application of pipes in the Netherlands gas industry*. Den Haag (Scheveningen): 9th International Gas Conference.

GARCIA ABAD, Bruno (1895), *Proyecto de una fábrica de contadores de gas, cañerías y gasómetros*. Ejemplar manuscrito nº 681.12(043) Gar. Barcelona: Fondo Antiguo de la Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial.

GARCÍA BOLÓS, Francisco (1988), *Estaciones de Regulación y Medida de alta presión*. Gijón: XIV Asamblea Nacional del Gas.

GARCÍA DE LA FUENTE, Dionisio (1985), *La Compañía Española de Gas, S.A. CEGAS, "Más de cien años de empresa"*. Paterna: Artes Gráficas Vicent.

GARCÍA SOTO, Germán (1982), *Perspectivas presentes y futuras de las técnicas no destructivas del control de calidad en los gasoductos de transporte*. Zaragoza: VIII Asamblea Técnica de Gas.

GARNIER, 1905: *Manufacture d'appareils a Gaz pour le chauffage, la cuisine et les bains, l'industrie et les hôpitaux*. Ancien Etablissements Bugnod & Garnier. Micher Garnier & Cie. Successeurs. Lión, Marzo, 1905.

GAS MADRID (1978), *Descripción de la planta de Manoterías*. Madrid: Gas Madrid.

GAS MADRID (1987) *Proyecto de entubado de polietileno en redes antiguas*. Madrid: Gas Madrid.

GAS MADRID (1996), *La Producción de Gas en Madrid. 150 años de historia*. Madrid: Gas Natural SDG, S.A.

GAS NATURAL – ENAGAS (1997), *La nueva ruta del gas natural*. Gasoducto Magreb-Europa. Barcelona: Gas Natural SDG, S.A.

GAS PENEDÉS, (1994), *Tradició gasista, 75 aniversari de Gas Penedès (1919 – 1994)*, Vilafranca del Penedès: Gas Penedès.

GAUDRY, Joseph (1856), *Notice sur l'invention de l'éclairage par le gaz hydrogène carboné et sur Philippe Lebon d'Humbersin*. París Typographie Hennuyer.

GIBERT MASVIDAL, Jorge (1971), "El GNL como elemento promotor de una futura red de gasoductos". *Ingeniería Química*. Mayo 1971.

GIL SUMBIELA, Luís (1898), *Contadores de Gas y de Electricidad*. Valencia: Imprenta de J. Guix.

GONZALO DE NAVACERRADA FARIAS, Pedro (1980), *Investigación oceanográfica para la localización de un corredor submarino entre Argelia y España*. Oviedo: VI Asamblea Técnica de Gas.

GOROSPE RODRIGUEZ, Luís; LÓPEZ PIÑON, Carlos (1982), *Aspectos tecnológicos en el tendido de tuberías submarinas a gran profundidad, por el método en "J"*. Zaragoza: VIII Asamblea Técnica de Gas.

GREBEL, A.; BOURON, H. (1924), *Gaz & Cokes. Manuel de la fabrication & de l'utilisation des gaz de distillation & des autres gaz industriels, des cokes & des sous-produits de la houille*. Paris: Dunod.

GRIMMEISEN, (s/f:), *Manufacture de lanternes et réflecteurs : fournitures spéciales pour usines à gaz*. Paris : Ch. & G. Grimmeisen.

GRINSVEN, P.F.A van (1982), *An Introduction to Natural Gas. Liquefaction Processes*. Londres: Shell International Gas Ltd.

GRISAU, (1907), *Mechero Universal Barcelona* (1907). M. Grisau.

GUBERN, Arseni (1981), *Las farolas de gas barcelonesas*. La Vanguardia 27 de Septiembre, 10.

HALES, Stephen (1727), *Vegetable staticks, or, An account of some statical experiments on the sap in vegetables being an essay towards a natural history of vegetation: also, a specimen of an attempt to analyse the air, by a great variety of chymio-statical experiments: which were read at several meetings before the Royal Society*. Londres: W. and J. Innys, and T. Woodward.

HAYWARD, Alan T. (1979), *Flowmeters. A basic guide and source-book for users*. Londres: MacMillan Publishers Ltd

HOLE, Walter (1921), *The distribution of gas*. Londres: Benn Brothers ltd.

HOLMES, (s/f:), *Holmer meters industrial consumers*. Huddersfield: W.C. Holmes & Company Limited.

HUMPHREYS & GLASGOW (1965), *Gas from Hydrocarbons...* Londres: Humphreys & Glasgow Limited.

ILLA, 1925: *Contadores de gas de Unidad Sistema IIIa Modelo 1925*. Kromschroeder.

Instalación de gas de agua de cok PINTSCH. Berlin: Julius Pintsch Aktiengesellschaft.

INSTITUT FRANÇAIS DU PETROLE (1975), *L'Industrie du Gaz dans le Monde*. Paris: Ed. Technip.

ISERN SITJÀ, Josep; CAMINO TABOADA, Juan (1978), *Comportamiento de los distintos tipos de tubería al efectuar un cambio de gas*. Málaga: IV Asamblea Técnica de Gas.

JOURNAL, 1890: "Chaudière chauffée au gaz, système Thwaite", *Journal des usines à gaz*, nº11, 5 de Junio de 1890, 172.

JOURNAL, 1890: "Fabrication du gaz. Fours à gazogène et récupérateur, système de Lachomette, en construction à l'usine à gaz de Perrache". *Journal des usines à gaz*, nº15, 5 de Agosto de 1890, 236-237.

JOURNAL, 1910: KOHN, C (1910), "Rapport de la Commission des Compteurs Congrès des gaziers allemands (Juin 1909)", *Journal des Usines à Gaz*, 20 de Enero, 24-25.

JOURNAL, 1927: "L'industrie du gaz en France il y a cinquante ans". *Journal des usines à gaz*, nº9, 5 de Mayo de 1927, 142-149.

JOURNAL, 1931: "L'usine à gaz d'Ivry. L'historique et les particularités intéressantes de l'usine primitive". *Journal des usines à gaz*, nº4, 20 de Febrero de 1931, 69-74, 96-103

JOURNAL, 1953: *Aide-mémoire de l'Industrie du Gaz* (1953). París: Societé Journal des Usines a Gaz.

JOURNAL, 1972: *Aide-mémoire de l'Industrie du Gaz*. (1972). París: Societé Journal des Usines a Gaz.

JUAN PRAT, Amadeo (1981), *Tecnología constructiva del polietileno en redes de baja presión*. Tarragona: VII Asamblea Técnica de Gas.

JUNKER, c.1930: *Cocinas de gas Junker & Ruh con espacio para calefacción por medio de carbón*: nº 353, 484-486 y 954k-956k.

KEENAN, George F. (1964), *Ductile Cast Iron pipe*. Den Haag (Scheveningen): 9th International Gas Conference.

KIRK_OTMER, 1980: *Kirk_Otmer Encyclopaedia of Chemical Technology*. New York: John Wiley & Sons, 1980.

KROMSCHROEDER, 1908: S.A. *Kromschroeder Barcelona*. Fábrica de contadores secos de gas. Fundada en Barcelona en 1908.

KROMSCHROEDER, 1930: *Kromschroeder. Comptador de Gas de Gran Rendiment*. Model 1930

KÜCHLER, F. N. (1879), *Manuel de l'éclairage par le gaz d'huiles minérales et des huiles a gaz*. Paris: Eugène Lacroix.

LABOULAYE, Charles (1873), *Dictionnaire des Arts et Manufactures de l'agriculture, des mines*. París.

LAVOISIER, A.L (1864), *Œuvres de Lavoisier. Tome Premier. Traité Élémentaire de Chimie*. París: Imprimerie Impériale.

LE CHATELIER, Henry (1884), "Sur un énoncé général des lois des équilibres chimiques. *Comptes Rendues de l'Académie des Sciences*, tomo XCIC, 786-789.

LECLERQ, 1901a: *Manufacture d'appareils pour Gaz, Electricité et Assainissement*. Leclerq & Cie. París, 1901.

LECLERQ, 1901b: *Manufacture de Chauffe-bain de tous systèmes*. Leclerq & Cie. París, 1901.

LEFÈVRE, Julián (1893), *Le Chauffage et les applications de la chaleur dans l'industrie et l'économie domestique*. París: Libraire J.-B. Baillièrre et fils.

LEGARRETA MACAU, Manuel (1979), *Sistemas alternativos de reparación en redes de distribución de gas*. Madrid: V Asamblea Técnica de Gas.

LÉVY, Paul (1910), *L'Éclairage à l'incandescence par le gaz, ses applications à l'éclairage des villes, des chemins de fer et des côtes*, París: H.Dunod et E.Pinat.

LIZARS, 1895: *Appareils: robinetterie-chauffage au gaz*, Siry. Lizars & C Milan: [S.n.], 1895.

LOMBARDERO REY, Luís Maria (1986), *Política de renovación y mantenimiento de una red de distribución de gas*. San Sebastián: XII Asamblea Nacional del Gas.

LÓPEZ ABELLEIRA, E. (2000), "Diseño, fabricación y montaje de gasoductos" *Ingeniería Química*, nº 367, Abril.

LÓPEZ PIÑERO, J.M. (1973), "Paracelsus and his Work in 16th and 17th Century Spain, *Clio Medica*, nº 8, 113-141.

LÓPEZ-GIL ANTOÑANZAS, Javier; BERDONCES FERNÁNDEZ, Pedro (1978) *Justificación y experiencias técnicas de la nueva planta de aire metanado instalada por Fábrica de gas Costa Brava S.A. en Sant Feliu de Guíxols*. Málaga: IV Asamblea Nacional del Gas.

Los tubos, 1931: *Los tubos a presión "Uralita", en sus aplicaciones para conducciones de gas*. Barcelona: Gràfica Catalana, 1931.

LUSA MONFORTE, Guillermo (1996) "La creación de la Escuela Industrial Barcelonesa (1851)", *Quaderns d'Història de l'Enginyeria*, vol. I, págs 1-51.

LUSA MONFORTE, Guillermo; ROCA ROSELL, Antoni (1997), “Ciència aplicada i industrialització a Catalunya. Les aportacions de Josep Roura (1797-1860)”. En: ROURA, José, *Memoria sobre los vinos y su destilación y sobre los aceites*. Facsímil de la primera edició (1839). Barcelona: Escola Tècnica Superior d’Enginyeria Industrial.

LUXO, Armand (1973), “Techniques gazières d’aujourd’hui et de demain”, *Gaz d’Aujourd’hui*, 1973 – p.201

MADOZ, Pascual (1845-1850), *Diccionario Geográfico Estadístico Histórico*. Madrid: Est. Literario-Tipográfico de P. Madoz y L. Sagasti.

MAGNIER, M. D.; BANCELIN, E. (1899), *Nouveau manuel complet de l’éclairage et du chauffage au gaz ou traité élémentaire et pratique destiné aux ingénieurs, aux directeurs et aux contremaîtres s’usines a gaz d’éclairage suivi de l’aide-mémoire de l’ingénieur gazier*. Paris: Encyclopédie-Roret. L. Mulo, libraire-éditeur, vol. II.

MALQUORI, Giovanni (1955), “La gasificazione degli olii pesanti Residui”. *GAS-Rivista della distillazione del fossile e del gas naturali e tecnici*, nº 9, Septiembre, 246-251.

MALQUORI, Giovanni (1955), “The use of heavy fuel oils in the gas industry”. *Proceedings of the Fourth World Petroleum Congress*. Roma.

MALQUORI, Giovanni (1959), *L’impiego dei prodotti petroliferi nell’industria del gas di città*. Nápoles: Istituto di Chimica Industriale, Università di Napoli.

MANJARRÉS, R. (1915), “Discurso necrológico del Dr. D. Jaime Arbós y Tor, leído en sesión pública celebrada el día 15 de marzo de 1885”. En: *Nómina de personal académico 1914-1915*. Barcelona: Real Academia de Ciencias y Artes, A. López Robert, imp.

MARCHIS, L. (1908), *Production et utilisation des gaz pauvres*. París: Dunod, H et Pinat, E, éditeurs.

MARÉCHAL, Henri (1894), *L’Éclairage a Paris*. Paris: Librairie Polytechnique Baudry et Cie, Editeurs.

MARQUET TORRENTS, Luís (1962), “La inyección de propano en el gas como fase preliminar en la mejora del suministro a los abonados”. *Acero y Energía*, nº 110, marzo-abril 1962

MARQUET TORRENTS, Lluís (1965) *Modernisation de l’industrie du gaz à Barcelone*. Paris: Journal des Industries á Gaz.

MÁRQUEZ MARTÍNEZ, Manuel (1989), *Combustión y Quemadores*. Barcelona: Marcombo.

MÁRQUEZ RODRÍGUEZ, Manuel (1991), *El fin del gas manufacturado en Catalana de Gas*. Bilbao: XVII Asamblea Nacional del Gas.

MARTÍN HERNÁNDEZ, Bernardo (1994) *Manual de tuberías*. Bilbao: Gráficas Elkar.

MARTÍN JIMÉNEZ, David (1996), LNG “Laietà”. *Trabajo de Diplomatura de la Marina Civil*. Barcelona: Facultat de Nàutica.

MARTÍNEZ DÍAZ, Ignacio (1980), *Criterios sobre normalización de los escalones de presión en las redes de reparto y distribución de gas natural*. Oviedo: VI Asamblea Técnica de Gas.

MARTÍNEZ NÓ, Maria Dolors (1993), *Josep Roura (1797-1860): precursor de la química industrial catalana*. Barcelona: Associació d’Enginyers Industrials de Catalunya, Techné, nº 4.

MASSE, René; BARIL, Auguste (1923), *Distillation de la houille*. París: Masson & Cie., Gauthier Villars & Cie.

- MASSÓ ORIOR, J.; CERVERA MARTÍNEZ, J. (1989), *La técnica ultrasónica aplicada al control de calidad de la soldadura de polietileno*. Sevilla: XV Asamblea Nacional del Gas.
- MATA REMOLINS, Josep (1977), *Comparación de fórmulas a emplear para el cálculo de la pérdida de carga en gasoductos de más de 12 bars*. Barcelona, Gas Natural.
- MATA REMOLINS, Josep (1979), *Análisis Económico de los diversos Sistemas de distribución*. Madrid: V Asamblea Técnica de Gas.
- MATA REMOLINS, Josep (1980), *Avances Técnicos en acometidas y válvulas enterradas*. Oviedo: VI Asamblea Técnica de Gas.
- MATA REMOLINS, Josep; CAMINO TABOADA, Juan Francisco (1977), *Sistema de Mantenimiento y Reparación de redes y su aplicación a la conversión a Gas Natural*. Barcelona: III Asamblea Técnica de Gas.
- MATA REMOLINS, Josep; ELÍAS CAO, Enrique (1987), *Sistema de nebulización de glicol y resultados obtenidos sobre redes de plancha asfaltada y válvulas de acometidas*. Madrid: XIII Asamblea Nacional del Gas.
- MATA REMOLINS, Josep; PUJOL PUIG, Helena (1983), *Comportamiento de las tuberías de acero frente a los gases combustibles en lo referente a formación de óxido de hierro*. Barcelona: IX Asamblea Técnica de Gas.
- MC CREDIE, Crispian (2005), *Encyclopaedia of LNG 2005*. Londres: The Petroleum Economist Ltd.
- McCREDIE, Crispian (2007), *Fundamentals of the global LNG industry 2007*. Londres: The Petroleum Economist Ltd.
- Memoria, 1934: *Memoria descriptiva de la Fábrica de Gas de la Barceloneta propiedad de la Catalana de Gas y Electricidad S.A.. Julio de 1934*. Arxiu Fundació Gas Natural (AFGN).
- MINEUR, A, (1922), *Manuel du chef du service extérieur d'une usine a gaz de puissance moyenne*. París: Journal des Usines à Gaz.
- MONNIER, D. (1876), *Aide-mémoire pour le calcul des conduits de distribution du gaz d'éclairage et de chauffage*. París: J. Baudrey, éditeur.
- MUTTER, Ferry (1974), *The use of Plastic Gas Pipes in the Netherlands*. En: *Proceedings of the fifth plastic pipe symposium*. Texas.
- NAEGELI, J.P. (1972), *Refrigeration Turbocompressors for Base-Load LNG Plants*. New Orleans. 27th ASME Petroleum Conference.
- NEEDHAM, Joseph (1962), *Science and Civilisation in China*. Cambridge: University Press, vol IV, part 1.
- NEWBIGGING, Thomas, FEWTRELL, W.T. (1879) *King's Treatise on the science and practice of the manufacture and distribution of coal gas*. Londres: William B. King.
- NIETO-GALÁN, Agustí (1994) *Ciència a Catalunya a l'inici del segle XIX. Teoria i aplicacions tècniques a l'Escola de Química de Barcelona sota la direcció de Francesc Carbonell i Bravo (1805-1822)*. Tesis Doctoral. Barcelona, Universitat de Barcelona (microprint nº 3618).
- NIETO-GALÁN, Agustí (1998), "Seeking an Identity for Chemistry in Spain: Medicine, Industry, University, the Liberal State and the new Professionals". En: KNIGHT, David; KRAIGH, Helge (eds.) *The making of the chemists in nineteenth-century Europe*. Cambridge: University Press, 177-190.

NODIER Charles; PICHOT, Amédée (1823), *Essai Critique sur le Gaz Hydrogène et divers modes d'éclairage artificiel*. París: Librairie de Charles Gosselin.

NODIER , 1923b: Rapports sur les établissements de l'éclairage par le gaz en Angleterre". En: NODIER Charles; PICHOT, Amédée (1823) *Essai Critique sur le Gaz Hydrogène et divers modes d'éclairage artificiel*. París, Librairie de Charles Gosselin.

NOGUERAS, Teodoro; CANET, Jordi; MOLERES, Luís; SOLÍS, Juan Miguel (1995) *Empleo del polietileno PE 100 en distribución de gas*. Barcelona: XX Asamblea Nacional del Gas.

NOTARIO TORRES, Javier; DE LA RUA RODRIGUEZ, Enrique (1989), *Puestas en gas de gasoductos de transporte y redes de distribución*. Sevilla: XV Asamblea Nacional del Gas.

Notice s/f: *Notice sur les appareils spéciaux pour usines a gaz & abonnés*. Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines a gaz. París.

OIL-GAS (1979), *Enciclopedia Nacional del Petróleo, Petroquímica y Gas*, Madrid: Sede Técnica.

ONIA-GEGI (1965), *Procédé "ONIA-GEGI"*. Gegi, Montrouge.

ORNSTEIN, León (1896), *Alumbrado a incandescencia por gas*. *Mechero Fénix*. Madrid: P. Sanz Calleja.

OROZCO Vallejo, Esteban (1979), "Gasoductos internacionales en Europa". *Revista de Obras Públicas*. Madrid, Octubre 1979.

PAGEL, Walter (1982), *Joan Baptista van Helmont: reformer of science and medicine*. Cambridge: University Press.

PAGEL, Walter (1986), *From Parascelsus to van Helmont*, studies in renaissance medicine and science. London.

PAQUIER, Serge y WILLIOT, Jean-Pierre (2005), *L'Industrie du gaz en Europe aux XIXe et XXe siècles*. Bruxelles: P.I.E.-Peter Lang S.A.

PARTINGTON, J.R.(1936), "Joan Baptista Van Helmont", *Annals of Science*, vol. I, nº4, 359-384.

PAYEN, A. (1867) *L'éclairage au gaz*. París: Hachette.

PECKSTON, Thomas S. (1819), *The theory and practice of gas-lighting*. London: Underwood, Ogle, Duncan &c.

PECKSTON, Thomas S. (1841), *A Practical Treatise on Gas-Lighting*. London: Hebert.

PEDRO QUADRI, Néstor (1988) *Instalaciones de Gas*. Buenos Aires: Librería y editorial Alsina.

PELOUZÉ, Théophile Jules, (1839), *Traité de l'éclairage au gaz :tiré de la houille, des bitumes, des lignites, de la tourbe... : précédé d'un examen approfondi de la teneur de ces combustibles en hydrogène...* , París: Magnin, Blanchard et Cie.

PELOUZE, Théophile-Jules; FRÉMY, Edmond (1865) *Traité de chimie générale, analytique, industrielle et agricole*. París: V. Masson et fils, 3ª ed.

PERRET, M.; BERTRAND, M (1958), *Essais de pose de tubes de chlorure de polyvinyle pour la distribution de gaz en basse pression*. Congrès Association Technique de l'Industrie du Gaz en France 1958.

PI Y ARIMON, Andrés Avelino (1854), "Alumbrado público de Barcelona". En: *Barcelona antigua y moderna*, vol. II, cap. VII, 287-297.

- PICHOT, M. (1960), “La station de compression du réseau de transport du gaz de Lacq” *Modernisation*, julio 1960.
- PILLOY, M; RICHARD, L. (1967), *L'expérience française dans le domaine du gaz naturel liquéfié*. Hamburgo: 10ème Congrès International de l'Industrie du gaz.
- PILLOY, Maurice; JOUGNEAU, Pierre (1957), *Emploi des matières plastiques pour l'établissement des réseaux de distribution de gaz*. Congrès Association Technique de l'Industrie du Gaz en France, 1957.
- POCH, Rafael (2009), “la luz de gas en Berlín” *La Vanguardia* 28 de Febrero, 7.
- PONT À MOUSSON S.A. (s/f) *Canalisation EXPRESS en fonte ductile pour gaz*. Pont à Mousson: Pont à Mousson S.A.
- POULAILLON, Paul (1972), “Les canalisations sous-marines: extrapolation des canalisations terrestres ou techniques nouvelles” *Gaz d'Aujourd'hui*; 1972-p.404.
- PRIESTLEY, Joseph (1772), *Directions for impregnating water with fixed air in order to communicate to it the peculiar spirit and virtues of Pyrmont water, and other mineral waters of a similar nature*. London: Printed for J. Johnson.
- Prometheus, c.1930: *Estufas a gas Prometheus Cossebaude bei Dresden*. Eisenwerk G. Meurer.
- PUIG PLA, Carles; BERNAT LÓPEZ, Pasqual (1995), “Jaume Arbós i Tor. Un nou recurs industrial, públic i domèstic: el gas”. En: ROCA ROSELL, A; CAMARASA, J.M. (1995), *Ciència i tècnica als Països Catalans; una aproximació biogràfica als darrers 150 anys*. Barcelona: Fundació Catalana per a la Recerca, vol I, 315-345.
- QUÉRET, Yvan; PRIM, Henry (1970), *Aperçu général sur le gaz naturel aux Etats-Unis*. Paris: Gaz d'Aujourd'hui.
- REIRIZ BASOCO, Jesús (1976), *Gas Natural Licuado, particularidades de su transporte por mar*. Madrid: Subsecretaria de la Marina Mercante.
- RENOUARD M.P (1952), “Nouvelles regles á calcul pour la determination des pertes de charge dans les conduites a gaz”, *Journal des Usines a gaz*; octobre 1952.
- RIBAS COMAS, Manuel (1998), “Història de l'enllumenat públic a Barcelona”. *Consell de Col·legis d'Administradors de Finques de Catalunya*, revista trimestral, nº34, Junio, 33-38.
- RIBES GARCÍA, Manuel I. (1987), *Nuevos procedimientos de saneamiento de tuberías de gas*. Madrid: XIII Asamblea Nacional del Gas.
- RIBÉ LLENAS, Ernest, y GASCON ALTÈS, Vicenç (1995), *Història del gas canalitzat a Vallès: des de 1854 fins a l'actualitat*. Tarragona: Gas Tarraconense.
- RIVERA YSASI YSASMENDI, José (1988), *La red de distribución de gas natural de Asturias. Proyecto y Realidad*. Gijón XIV: Asamblea Nacional del Gas.
- ROCA MASGRAU, Ramon (1971), *Techniques employées pour l'introduction de la distribution de gaz naturel en M.P.B. à la banlieue de Barcelone*. Association Technique de l'Industrie du Gaz en France (ATG). Congrès 1973.
- RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, Luís M.; NÚÑEZ DOVAL, José Luís (1988), *Los nuevos terminales para recepción y almacenamiento de GNL en palos de la frontera (Huelva) y de Cartagena*. Gijón: XIV Asamblea Nacional del Gas.

- ROMANÍ QUILIS, Manuel (1982), *La Industria del gas en España. El gas natural, energía alternativa para la transición*. Madrid: Ed. Index.
- RUSSEL-WOOD, J. (1950), "The scientific work of William Brownrigg M.D., F.S.S. (1711-1800)". *Annals of Science*, vol. 6, 4, Noviembre, 436-447.
- SABATÉ MUZAS, Isidro (1971), "Distribución de gas natural a partir de plantas satélites" *Ingeniería Química*. Mayo 1971.
- SALES, M (1967), "Bericht des Ausschusses Gasverteilung". Hamburgo: 10, Internationaler Kongress der Gasindustrie.
- SCHILLING, Eugène (1895), *Traité sur la production et l'exploitation de la lumière au gaz de houille*. Paris, Moniteur de l'industrie du gaz et de l'électricité.
- SCHILLING, N.H. (1868), *Traité d'éclairage par le gaz*. Paris, Eugène Lacroix, éditeur.
- SCHILLING, N.H. (1879), *Traité d'éclairage par le gaz de houille*. Paris: Eugène Lacroix, 10^a ed.
- SEDIGAS (1979), *Le développement de l'industrie du gaz naturel en Espagne*. Burdeos: Sedigas S.A.
- SEDIGAS (1991), *Manual de medición de grandes caudales*. Barcelona: Sedigas S.A.
- SEDIGAS (1991), *The gas Industry in Spain. Málaga: 68^a sesión Intergas Marketing*. Octubre 1991.
- SEDIGAS (2000), *Manual de intervenciones en carga en tuberías de acero* Barcelona: Sedigas S.A.
- SEDIGAS (2001), *Manual de canalizaciones de distribución*, 2 vol. Barcelona: Sedigas S.A.
- SEDIGAS (2004), *Manual del gas y sus aplicaciones*. Barcelona: Sedigas S.A.
- SEDIGAS (2005) *Manual de transporte*. Barcelona: Sedigas S.A.
- SEGELER, C. George (1965), *Gas Engineers Handbook*. New York: American Gas Association – The Industrial Press.
- SHELL (1980), *LNG Terminals*. Londres: Shell International Gas Ltd,
- SHELL (1983), *An Introduction to Natural Gas*. Londres: Shell International Gas Ltd,
- SHELL (1986), *Perspectivas del gas natural en diversas regiones*. Londres. Shell International Petroleum Company Limited.
- SHELL (1988), *Natural Gas combined cycle power generation*. Londres: Shell International Gas Ltd.
- SINGER, C et. al. (1969) *A History of Technology*. Oxford: The Clarendon Press.
- SMILES, SAMUEL (1935), *Inventores e industriales*. Barcelona: Ed. Ramon Sopena.
- SOLEURE, 1906: *Catalogue des appareils à gaz pour cuisine et chauffage* Schweizerische Gasapparate-Fabrik Solothurn (Fabrique suisse d'appareils à gaz Soleure), 1906.
- SPEYBROECK, Henry van (1987), *Conception and choice of materials for gas distribution*. Bangkok: Intercom-Belgium. October, 1987.
- SUDRIÀ, Carles (1983), "Notas sobre la implantación y el desarrollo de la industria del gas en España, 1840-1901. *Revista de Historia Económica*, año I, n° 2, 97- 118.
- TANNER, Alvin L.; Cooper, Colin R. ; Drucker, Elliot F. ; Miles Edward J. (1979) *Economic Comparison of compressor drivers for LNG plants*. LNG Conference.

TARDIN, Jean (1618), *Histoire naturelle de la fontaine qui brusle pres de Grenoble. Avec la recherche de ses causes & principes, & ample traicté des feux sousterrains*. Tournon Guillaume Linocier.

The Philosophical Transactions (1683-1775). "A Proposal for Warming Rooms by the Steam of Boiling Water Conveyed in Pipes along the Walls: And a Method of Preventing Ships from Leaking, Whose Bottoms are Eaten by the Worms: By Colonel Wm. Cook", vol. 43, (1744 - 1745), 370-372.

The Philosophical Transactions of the Royal Society of London: *from their commencement in 1665, to the year 1800*; con notas e ilustraciones bibliográfiques de Charles Hutton, George Shaw and Richard Pearson. London: C. and R. Baldwin, 1809, vol. 1 (1665/72)-vol. 18 (1796/1800).

THOMSON, Janet (2003), *The scot who lit the world*. Glasgow: Thomson.

THORNDIKE (1941), *A History of Magical and Experimental Science*. New York: Columbia Univ. Press. Vol. V.

TISSOT, B et BESSEREAU, G. (1982), "Geochimie des gaz naturels et origine des gisements de gaz en Europe occidentale", *Revue de l'Institut Francais du petrole*, vol 37 - n° 1, jan-feb 1982.

TORRALVA GALLEGU, Carlos (1986), *Nuevos tipos de revestimiento de tubería para gasoductos*. San Sebastián: XII Asamblea Nacional del Gas.

TRAVESSET CHICOTE, Angel (1990), "Puesta en marcha de las terminales de G.N.L. de Cartaena y Huelva". *Ingeniería química*, vol, 22 - núm 261, dic 1990

TRUCHOT, P. (1899) *L'éclairage a incandescence par le gaz et les liquides gazéifiés*. París: Georges Carré et C. Naud, éditeurs.

Tubos, 1927: *Tubos de enchufe de acero*. Röhren-Verband, G.m.b.H. Catálogo de Exportación n° 62. Edición de Abril de 1927.

Ullmann's, 1989: *Ullmann's Encyclopaedia of industrial Chemistry*. Weinheim: Wiley- VCH. Gas Production, 1989, vol. A12.

VALDÉS RUIZ, Joaquín (1983), *Tendencias actuales para el proyecto y construcción de tanques para el almacenamiento de GNL y características del que ENAGAS ha construido en la terminal de Barcelona*. Barcelona: IX Asamblea Técnica de Gas.

VEILLERETTE, François (1987), *Philippe Lebon ou "l'home aux mains de lumière"*. St. Martin Colombey-les-deux-eglises: Ed. N. Mourot.

VELA, Antonio (1995) *El gas como alternativa energética*. Madrid: Alianza editorial, n° 829.

VINCENT-GENOD, Jacques Louis (1984) *Fundamentals of pipeline engineering*. Paris, Tecnip.

VIDAL BURDILS, Francisco (1949), *La industria del gas en España*. Barcelona: Ariel

VINCENT, Camile (1873), *Carbonisation des bois en bases closes et utilisation de produits dérivées*. Paris: Gauthier-Villards.

VINCENT-GENOD, J. (1971), *Le transport des hydrocarbures liquides et gazeux par canalisation*. Paris: Institut Français du Pétrole.

WATSON, Richard (1791), *Chemical essays*. Dublin: J. Moore.

WATSON, Richard (1817), *Anecdotes of the life of Richard Watson written himself at different intervals*; published by his son Richard Watson Londres: T.Cadell and W. Davies.

WEYMOUTH, T.R. (1912), “Problems in Natural Gas Engineering”, A.S.M.E. *Transactions*, 34:185-234.

WILLIAMS, Trevor I. (1981), *A History of the British Gas Industry*. Oxford: University Press.

WITZ, A. (1892-1899), *Traité théorique et pratique des moteurs à gaz et à pétrole*. París: E. Bernard et Cie. Imprimeurs-Editeurs, 3 vols.

WRIGHT, Lawrence (1966), *Los fuegos del hogar*. Barcelona: Editorial Noguer, S.A

Archivo Histórico – Fundación Gas Natural Fenosa (AHFGNF)

Los autores han efectuado múltiples consultas en la documentación que se encuentra depositada en el citado archivo, aquí aparecen las más significativas.

- El gasómetro M.A.N. (1927). Caja 2077.
- Hornos Dr Otto (1932-1961). Caja 2275.
- El Gasómetro MAN de Sant Martí (1932-1956). Cajas 2145 y 2077.
- Fábrica de gas de la Barceloneta (1934). Caja 55.
- Depuración química del gas (1942). Caja 1162.
- Plano de la fábrica de Badalona (1942). Caja 2422.

- Memoria descriptiva de la fábrica de la Barceloneta (1941). Caja 2322.
- Proyecto de tubería de alta presión de fábrica de San Martín a Fábrica de Sabadell (1946). Caja 1351.
- Contador de gas de Catalana de Gas (1949-1961). Cajas 590 y 589.
- Estudio del proceso “Rochdale” de destilación continua acelerada (1954). Caja 1046.
- Proyecto de instalación de una planta ONIA-GEGI en San Martín (1957). Caja 1351.
- Proyecto de ampliación de la fábrica de San Martín (1958). Caja 1351.
- Planos y fotografías de la nueva fábrica de San Martín (1962). Caja 2000.
- Catalana de Gas y Electricidad. Estado de las obras de la nueva fábrica de San Martín en 1 de mayo de 1963.
- Ensayos de garantía de la línea 2 de craking catalítico de naftas ligeras instalada en la fábrica de San Martín (1963). Caja 1351.
- Documentos del proyecto de GNL en Barcelona (1966). Caja 4070.
- Línea Cifuindus de Manresa (1967). Caja 276.
- Instalación de Aire propanado en Barcelona (1967). Caja 2833.
- Planos de las fábricas de Sant Martí y Barceloneta (1968). Caja 2614.
- Estudio de ampliación de la red de Manresa (1968). Caja 2134.

- Estudio del proceso seguido para la realización del proyecto de recarburación del gas con mezcla de gas-oil (1968). Caja 2134.
- Plano de la fábrica de la Barceloneta (1968). Caja 5643.
- Reguladores de presión (1968). Caja 51.
- Odorización del gas producido en Barcelona (1969). Caja 2134.

Publicaciones periódicas

Aquí aparecen aquellas publicaciones las cuales se han consultado: o bien de forma metódica abarcando un amplio periodo de edición, o bien de forma esporádica para ampliar aspectos sobre algún tema estudiado.

- Acero y Energía.
 - Annales de chimie et de physique.
 - Annals of Science.
 - Clio Medica.
 - Comptes Rendues de l'Académie des Sciences.
 - Cuadernos de Historia.
 - El Progreso de la ingeniería: revista mensual por el Verein Deutscher Ingenieure.
 - Gas 2000. Publicación técnica de Catalana de Gas S.A.
 - Gas actual.
 - Gas d'Aujourd'hui.

- GAS, Rivista della distillazione del fossile e del gas naturali e tecnici.
- Gestión y Energía.
- Ingeniería Química.
- Journal des Usines à Gaz.
- Les Cahier Haut-Marnais.
- Oil-Gas.
- Quaderns d'Història de l'Enginyeria.
- Reports on Science and Technology.
- Revista de Historia Económica.
- Revue Générale des Sciences pures et appliquées.
- Scripta Nova Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales.
- Scripta Vetera. Edición Electrónica de Trabajos Publicados sobre Geografía y Ciencias Sociales.
- The Economic History Review.
- The Philosophical Transactions.
- Thermia.

Recursos electrónicos de la web

- BEATH, Andrew; DAVIS, Burl (2006) Underground Coal Gasification History. Csiro and Carbon Energy. Kolkata, India http://fossil.energy.gov/international/Publications/ucg_1106_csiro.pdf.
- Die Firma Dr. C. Otto & Comp./ Werk Bendorf. Eine Chronik der Firma zum 100 jährigen Bestehen, 2003. <http://www.bendorf-geschichte.de/bdf-0132.htm>

- Aimé Bonna: de l'égout à l'église. <http://entreseineetoise.free.fr/bonna.htm>.
- Gazomètre de Oberhausen et haut fourneau. <http://pagesperso-orange.fr/culture.industrielle/ruhr1.htm>.
- Continental Contitech. Diaphragms for gas holders. http://www.contitech.co.uk/industrial_gasholder.html.
- Les tires à part d'Old Book Illustrations <http://www.oldbookillustrations.com/blogfr/tag/personnages/>.
- El Museo de antigüedades. Calentadores de Agua. <http://www.waterheaterrescue.com/pages/WHRpages/espanol/LasPaginas/el-museo-home.html>.
- William Sugg & Co 1837 – 1969. <http://www.williamsugghistory.co.uk/>.
- Esquema de la planta de gas natural licuado (LNG) y gas propano licuado (LPG). Badak - Indonesia. (<http://www.badaklng.co.id>).
- Buques. <http://www.marineTraffic.com>; <http://www.visualships.com/> ; <http://www.streamrgn.com>.
- Museos históricos: <http://www.nationalgasmuseum.org.uk/>; <http://www.natgasedu.com/antiques.html>; <http://www.gasmuseum.co.uk/>; <http://www.fakenhamgasmuseum.com/>.

Índice de cuadros

Cuadro 1.1.	Fábricas de gas existentes a finales de 1861	20
Cuadro 1.2.	Consumo de gas en 1978 en España (termias per cápita)	28
Cuadro 1.3.	Consumo de gas natural	29
Cuadro 1.4.	Oferta/demanda y déficit de gas natural	29
Cuadro 3.1.	Rendimientos proporcionados por diferentes tipos de hullas	56
Cuadro 4.1.	Otro tipo de gases combustibles	126
Cuadro 4.2.	Tipos de gasógenos	145
Cuadro 5.1.	Composición del gas obtenido en Angren	167
Cuadro 5.2.	Composición típica del gas resultante de la gasificación del carbón (en % de volumen)	170
Cuadro 5.3.	Comparación de los tres principales métodos de gasificación del carbón	173
Cuadro 5.4.	Componentes del gas obtenido en el proceso Lurgi	173
Cuadro 5.5.	Componentes del gas obtenidos en el proceso Koppers-Totzek	176
Cuadro 5.6.	Descomposición del petróleo por craqueado	180
Cuadro 5.7.	Componentes usuales del gas ciudad	183
Cuadro 5.8.	El proceso Hall	189
Cuadro 5.9.	El proceso ONIA-GEGI	194
Cuadro 5.10.	Comparación de procesos utilizando nafta	195
Cuadro 5.11.	Metodos de “Reforming”	192
Cuadro 5.12.	Reformado continuo proceso ICI	193
Cuadro 5.13.	Componentes del gas obtenido en el proceso CRG	198
Cuadro 5.14.	Catalana de Gas. La capacidad de producción de gas en 1960	206
Cuadro 5.15.	Tipología de los procesos utilizados en las fábricas de gas españolas	207
Cuadro 5.16.	Proceso ONIA-GEGI	208
Cuadro 5.17.	Composición del gas resultante	209
Cuadro 5.18.	Proceso ONIA-GEGI modificado	213
Cuadro 5.19.	Composición del gas resultante del proceso modificado	213
Cuadro 5.20.	Densidad relativa respecto al aire	220
Cuadro 5.21.	Indice de Wobble de las tres familias de gases	220
Cuadro 5.22.	Indice de Wobble de los hidrocarburos	220
Cuadro 5.23.	La red de gas de Cádiz en 1985	222
Cuadro 5.24.	Utilización del aire propanado y el aire metanado	223
Cuadro 6.1.	Materiales utilizados en las canalizaciones de gas antes de 1930	237
Cuadro 6.2.	La red de distribución de Madrid en 1970	254
Cuadro 6.3.	La red de distribución de baja presión de Manresa en 1968	254
Cuadro 6.4.	Características de los contadores de gas	286
Cuadro 6.5.	Porcentaje de contadores cambiados	287

	Nº página	
Cuadro 8.1	Características principales de los hidrocarburos	348
Cuadro 8.2.	Composición de un gas natural según el yacimiento	349
Cuadro 8.3.	Millones de metros cúbicos de gas extraído de yacimientos y consumido	351
Cuadro 8.4.	Producción bruta de gas natural en 1958	352
Cuadro 8.5.	La implantación del gas natural en Holanda	353
Cuadro 8.6.	Utilización del gas natural en 1969 en el área de Barcelona	356
Cuadro 8.7.	El gas natural en España. 1969 -1976	357
Cuadro 8.8.	La distribución del gas en España en 1982	359
Cuadro 8.9.	Componentes del gas natural en % de volumen a la salida del yacimiento	363
Cuadro 8.10.	Proporción de hidrocarburos en un gas natural	364
Cuadro 8.11.	Producción del yacimiento de Castillo. 1963 -1970	365
Cuadro 8.12.	Yacimientos de gas natural en España. 1963-2008	367
Cuadro 8.13.	Los compuestos no combustibles del gas natural según el yacimiento	367
Cuadro 8.14.	Procesos de reducción y eliminación de impurezas del gas	370
Cuadro 8.15.	Licuaación de hidrocarburos	371
Cuadro 8.16.	Influencia de la presión	371
Cuadro 8.17.	Proceso utilizado en las plantas de GNL construidas entre los años 1960 y 2000	379
Cuadro 8.18.	Las cubas experimentales del Beauvais	381
Cuadro 8.19.	Buques metaneros en servicio a 1 de septiembre de 1974	385
Cuadro 8.20.	Tecnologías de construcción de buques	387
Cuadro 8.21.	Buques metaneros puestos en servicio y su tecnología	389
Cuadro 8.22.	Capacidad en m3 de los cuatro tanques del Laietà	391
Cuadro 8.23.	Buques metaneros en 1995 que suministraban a la red española	393
Cuadro 8.24.	Buques incorporados al transporte de GNL hasta 2009	399
Cuadro 8.25.	Plantas de recepción de GNL en el mundo en 1970	399
Cuadro 8.26.	La planta de recepción de GNL de Barcelona en 1972	404
Cuadro 8.27.	El gas procedente de Argelia	405
Cuadro 8.28.	Las plantas españolas de recepción de GNL en 1990	405
Cuadro 8.29.	Almacén subterráneo de Serrablo	414
Cuadro 8.30.	Almacén subterráneo Gaviota	414
Cuadro 8.31.	Gasoductos internacionales construidos hasta 1972	418
Cuadro 8.32.	Tipos de transporte utilizados en España desde 2002	420
Cuadro 8.33.	Gasoductos españoles en 1982	422
Cuadro 8.34.	Evolución de los requisitos de las tuberías de acero	425
Cuadro 8.35.	El gasoducto del Magreb	430
Cuadro 8.36.	Las primeras estaciones de compresión en Europa	443
Cuadro 8.37.	Estaciones de compresión españolas en 1999	447
Cuadro 8.38.	Reguladores de presión para la distribución	447

	Nº página
Cuadro 8.39. Plantas satélites para la distribución, instaladas en España entre 1970 y 1985	450
Cuadro 9.1. CO ₂ emitido en la combustión por unidad de energía producida	453
Cuadro 9.2. Gas de emisión en Barcelona en 1974	454
Cuadro 9.3. Pruebas de odorización efectuadas en 1960 en Barcelona para distintos gases manufacturados	455
Cuadro 9.4. Condiciones necesarias para la combustión de gases	458
Cuadro 9.5. El cambio de gas manufacturado a gas natural	463
Cuadro 9.6. La red de distribución y el uso de gas natural	464
Cuadro 9.7. Etapas en la introducción del gas natural en Cataluña	467
Cuadro 9.8. Situación del gas en España en 1987	469
Cuadro 9.9. Clasificación de las instalaciones según la presión de servicio por encima de la atmosférica	470
Cuadro 9.10. Material empleado en tubos para distribución de gas en media presión	481
Cuadro 9.11. Presión máxima utilizada con canalizaciones de polietileno	481
Cuadro 9.12. Prestaciones técnicas entre PVC, PE y PB	484
Cuadro 9.13. Material empleado en tubos para distribución de gas en baja presión	488

Índice de imágenes

Fábrica de gas de Alicante, año 1905	18
Fábrica de gas de Manresa, año 1905	23
Hornos Otto de la fábrica de gas de Barcelona, c.1960	24
Número de establecimientos y productores, por provincias, año 1963	25
El transporte de gas en la Europa de 1968-69	27
Red de gas natural a final de 1969.	28
Único retrato de Van Helmont.	33
Portada de las Philosophical Transactions	35
Retrato de Robert Boyle	36
Retrato de Philippe Lebon y cuadro que representa su asesinato dibujado por Emile Bayard	39
Retrato de William Murdoch del pintor John Graham Gilbert	42
Casa de Murdoch en Redruth (Cornualles)	43
Termolámpara de Andreas Zacharias Winzler	44
Vista general de la fábrica de Ivry en 1844	47
Retrato de José Roura	49
Plano general de la fábrica de la Barceloneta en 1894	51
Vista general de la fábrica de la Barceloneta, 1900	52
Esquema de una fábrica de gas de hulla	55
Primera retorta inventada por Murdoch	57
En la figura A es la retorta, B el tubo de salida del gas, C el hogar y D el conducto de humos que conectaba con la chimenea	58
Otras disposiciones de retortas ideadas por Murdoch	59
Horno de dos retortas	60
Horno con repartimiento de llama	61
Horno de cinco retortas con fuego directo	61
Horno de cinco retortas en D	62
Sección de una retorta	62
Horno de Spinney	63
Horno de Clift	64
Diferentes formas de retortas de tierra refractaria	65
Sistemas Lowe y Croll	65
Vista lateral y frontal de la cabeza de una retorta con el tubo montante	66
Sistemas de cerramiento de las cabezas de retorta	67
Dibujo esquemático de la cabeza y el cuerpo de una retorta	67
Sección de un barrilete	68
Barrilete húmedo	69
Extractor de Methven	70
Extractor Pauwels y Dubochet	71
Regulador del extractor	71
Sistemas de recogida de condensados	73
Condensador Wright	73
Condensador de tubos horizontales Reutter	74
Depurador de cal inventado por Clegg	75
Dos depuradores y cuatro depuradores Anderson	76
Scrubber	79
Lavador-condensador Chevalet	80
Condensador Pelouze-Audouin. Detalle del cilindro y esquema general	81

	Nº página
Lavador rotativo modelo Holmes	81
Lavador centrífugo Feld	82
Hogar de combustión de coque y alquitrán	83
Esquema de un horno de alquitrán equipado con un inyector. A la derecha, esquema del inyector	84
Gasógeno tipo Didier	86
Disposiciones horizontal o vertical de los materiales refractarios que constituyen el recuperador	86
Pablo Yvern y Ballester	87
Plano de las piezas cerámicas del recuperador Yvern	88
Horno Hesse-Didier	89
Esquema del horno Lacomette	89
Pala articulada Laurain	91
Máquina de carga Brouwer	91
Extractor Brouwer	92
Instalación de hornos de retortas inclinadas	93
Hornos de retortas verticales de destilación	94
Aparato de carga de un horno Woodall-Duckham	96
Extracción de coque en hornos Woodall-Duckham	96
Hornos Woodall-Duckham	97
Esquema del horno Glover-West	98
Evacuador de coque de horno Glover-West	98
Instalación de hornos de cámaras horizontales	99
Horno de cámaras inclinadas	100
Instalación de hornos de cámaras inclinadas	101
Hornos Dr. Otto	102
Cámaras Otto con pared vertical intermedia entera, media pared o sin ella	105
Gasómetro de Lavoisier	106
Gasómetro instalado por Samuel Clegg para el librero Ackermann	107
Gasómetro hidráulico, gasómetro telescópico y gasómetro seco	108
Perfiles de las cubas de mampostería	110
Gasómetros con diferente sujeción	112
Gasómetro Pauwels	113
Gasómetros de la Vilette	113
Gasómetro doble de Stratton	114
Primer gasómetro de tres niveles de 4.500 m ³ construido en Londres en 1860	115
Depósito del gasómetro de Barcelona	116
Gasómetro telescópico de La Catalana en la Barceloneta	117
Esquema de un gasógeno seco	117
Junta del gasómetro M.A.N.	118
Gasómetro Klöne y detalle de la junta	119
Esquema de funcionamiento del gasómetro Wiggins	120
Planos del gasómetro M.A.N. de la Catalana	121
Detalle de la junta del gasómetro M.A.N. de Sant Martí	122
Gasómetro M.A.N. de Catalana	123
Plano de diseño del gasómetro M.A.N. de Sant Martí	124
Felice Fontana (1730-1805) descubridor del gas de agua	125
Esquema de la termolámpara de Lebon	127
Horno doble para destilación de la madera	128
Aparato Mansfield para producción de gas de aceite	129
Retorta vertical	130

	Nº página
Retorta transversal	131
Fabricación de gas de agua	134
Thaddeus S.C Lowe (1831-1913)	135
Fabricación de gas de agua por el proceso Lowe	136
Gasógeno Dellwik-Fleischer	137
Gasógeno Humphreys & Glasgow	138
Instalación de gas de agua carburado Otto-Pintsch	140
Esquema de un recuperador	141
Sección de un gasógeno Siemens	142
Alzado de un gasógeno doble Siemens	142
Esquema completo de instalación con un gasógeno de inyección	143
Esquema completo de instalación con un gasógeno de aspiración	144
Jaime Arbós	147
Imagen del gasógeno Arbós según la patente de 1862	148
Gasógeno Pierson	150
Gasógeno Dowson	150
Gasógeno Ficher y Heurtey	150
Gasógeno Lencauchez	151
Gasógeno Crossley y Ribgy	151
Gasógeno Letombe	152
Gasógeno Griffin	153
Gasógeno Triumph	154
Gasógeno Gentys	154
Gasógeno Grice	154
Gasógeno Taylor	155
Gasógeno Pierson	155
Gasógeno Hindley	156
Gasógeno Catier	156
Gasógeno de la Mersey Engine Works Cº	157
Esquema de la instalación de propano en la fábrica de la Barceloneta	163
Esquema de funcionamiento de la central de Angren	166
Esquema de funcionamiento de Newman Spinney	168
Diferentes concepciones del reactor de gasificación y la distribución de temperaturas del reactor en vertical	172
Proceso Lurgi	174
Proceso Winkler	175
Proceso Koppers-Totzek	176
Esquema de una transformación de carbón en gas natural de síntesis	178
ONIA-GEGI	184
Esquema de los dos ciclos de funcionamiento de una línea de craqueado catalítico CIFUINDUS	185
Esquema de principio de reformado continuo con combustión parcial	187
Esquema del proceso Selmet-Solvay de obtención de gas de hidrocarburos líquidos	190
Esquema del proceso ONIA-GEGI	191
Las dos fases de funcionamiento del proceso cíclico ONIA-GEGI	192
Desde los años 1950 las fábricas de gas empezaron a tener otra composición industrial.	
En la imagen la fábrica de Verona	193
Esquema del proceso SEGAS	195
Esquema del proceso continuo de ICI	197
Proceso de obtención de gas ciudad mediante reformado continuo catalítico	199
Proceso de obtención de gas ciudad mediante reformado continuo catalítico	200

	Nº página
Reactor desarrollado por <i>UK Gas Council</i> para hidrogenación en lecho fluido	201
Diagrama de la obtención de gas natural sintético	202
Esquema de la primera instalación española de producción de gas por craqueado de fuel-oil	204
Equipos de reformado catalítico de la fábrica de gas de Vilafranca del Penedès	205
Esquema del proceso general de ONIA-GEGI para el reformado de la nafta	209
Memoria de catalana del Gas y Electricidad de 1963	210
El equipo ONIA-GEGI durante el proceso de instalación en 1963	211
Imagen de las cámaras de “Reforming” y combustión de la planta de San Martí	211
Instalación de gas de agua carburado Otto-Pintsch	211
Esquema de funcionamiento del proceso ONIA-GEGI con introducción de aire junto con el vapor	212
Esquema de la nueva fábrica de San Martín	214
Esquema de craqueado catalítico	215
Equipos de reformado catalítico SNAM de la planta de Manoteras, Madrid	216
Equipo I de reformado catalítico Koppers de la planta de Manoteras, Madrid	216
Esquema del proceso de gas rico reformado tubular que seguían las líneas Koppers y Powergas	217
Esquema de la planta de fabricación de gas de Manoteras, Madrid	218
Esquema de distribución del gas desde la fábrica hasta el lugar de consumo	226
Red ramificada y red mallada	226
Gráfica de Monnier para tuberías de entre 100 y 600 mm de diámetro	228
Calculadora de flujo de gas de W.E. Briggs	229
Esquema de una instalación	229
Tabla de cálculo de pérdidas de carga	229
Diámetros de cada tramo	230
Diámetros necesarios según el consumo	230
Portada del documento elaborado por J.M.Spitzglass en 1912	231
La velocidad del gas Q depende principalmente de los parámetros físicos de la tubería L_c y D , y de la presión P_A .	232
Tubo Chameroy	234
Disposición de los tubos Tomás fabricados en el siglo XIX	235
Aime Bonna	236
Unión de enchufes con y sin cordón de plomo	237
Enchufe rígido	238
Junta Lavril y junta rígida	238
Junta Gibault	240
Junta Sumzée mediante tubos de enchufe y cordón y mediante tubos Sumzée	240
Unión de tubos Chameroy	241
Detalle de las uniones de los tubos de hormigón del catálogo de Materiales y Tubos Bonna S.A.	241
Juntas Simplex y Univit	242
Ejemplo de colocación de una tubería de gas	243
Puente rodante para tuberías de gran diámetro	243
Nicho para unión de plomo	244
Sifón	244
Sifón (arriba) Marechal, Sifón de debajo de conducto (abajo)	245
Sifones sobre conducto y aislador	245
Unión de dos tuberías de diámetro diferente	246
Pistones de bloque	246
Balón obturador	246
Agujero tapado con un obturador	246
Sistema para desatascar tuberías	247

	Nº página
Estructura general de una red de distribución de gas de mediados de los años 1960	249
Esquema simplificado de la red de Barcelona. Año 1960-64	250
Red de media presión de distribución de Barcelona. Años 1968-69	250
Unión entre dos tubos de fundición dúctil	251
Tubería estándar de fundición dúctil	252
Unión normal de tubos de fibrocemento	252
Esquema simplificado del sistema de suministro de gas ciudad en Madrid. Año 1980	253
Esquema de la red de media presión de la ciudad de Manresa	255
Depósito esférico de gas de la fábrica de Manóteras en Madrid	255
Aparato medidor de presión en la red de gas	256
Los escapes del gas según el tipo de recubrimiento del suelo	257
Proceso de reparación de una fisura larga en un tubo de PVC	258
Refuerzo de una unión T de chapa asfaltada	259
Indicador de presión	260
Arriba el regulador Pauwels, abajo el gasocompensador	261
Reguladores equilibrados y no equilibrados	262
Reguladores Garcís / Elster	263
Regulador Ledig	264
Regulador de mercurio	265
Contadores de fábrica	267
Contador Clegg	268
Contador Malam	269
Sección de un contador	270
Contador hidráulico	271
Contador de nivel constante	273
Contador de medida invariable	273
Contador Dupoy	274
Contador Duplex con inyector Dupoy	275
Esquema del contador de pago previo	275
Contador seco patentado por Croll	276
Esquema de un contador seco	277
Contadores secos Kromschroeder de 10/20 mecheros (Kromschroeder, 1908)	278
Vistas del contador seco Kromschroeder	279
Contador Sigma	280
Plano del contador CGE	282
Contadores de fabricación B.M. de la casa Holmes Huddersfield, nivelado con gasoil	283
Esquema del contador CGE	285
Esquema de vaciado del contador	286
Contador de gas CGE con carcasa de fundición	288
Contador de gas CGE con carcasa de aluminio	288
Mechero de abanico o mariposa	291
Mechero Manchester	292
Mechero Bengel con chimenea de vidrio	292
Mechero Argand sin chimenea de vidrio	293
Mechero Dumas	293
Mechero y Farol de gas cuatro de septiembre	294
Mechero de recuperación el Parisino	295
Mechero de recuperación el Industrial	295
Mechero de recuperación Moderno	296

	Nº página
Mechero de recuperación Mortimer Sterling	296
Mechero de recuperación Guilboud-Giroud	297
Soplete oxhídrico	298
Aparato Tessié du Motay	298
Mechero diferencial y elementos del mechero diferencial Tessié du Motay	299
Mechero Bunsen	299
Mechero Clamond	300
Carl Auer von Welsbach	301
Elementos y vista del mechero Auer	301
Mechero Fénix	303
Mechero Albó-carbón	304
Mechero Heliógeno y lámpara de recuperación con mechero Heliógeno	305
Mecheros Denayrouze de alta presión	306
Mecheros Denayrouze de baja presión	306
Mechero invertido para alumbrado interior	307
Mecheros Kern y Visseaux	307
Faroles cuadrados, redondos, hexagonales	308
Despiece de un farol de gas	308
Repisa de hierro fundido y farol de gas de repisa	309
Candelabros de hierro	309
Candelabros de los Champs-Élysées, de la plaza de la Concorde, del puente de la Concorde y una columna rostral de los alrededores de la Ópera	309
Candelabro múltiple de Gaudí	310
Encendido con cuchara y con rampa	311
Pértiga de alcohol para encendido. Mecanismo de encendido por tubo doble	311
Encendido automático	312
Fogón redondo	313
Quemador circular doble desmontado	313
Fogones simples, de dos y tres llaves	314
Recambios de quemadores	314
Nuevo quemador Garnier	314
Quemadores económicos de pipa	315
Fogones de tres fuegos	315
Fogón esmaltado de dos fuegos	316
Fogones con horno, con parrilla, con asador	316
Cocina “Art Nouveau”	317
Cocina modelo 804	318
Cocina esmaltada	318
Cocina meridional con gratinador de pescado	319
Cocina mixta	319
Cocina de gas con calefactor de carbón incorporado	319
Gran cocina	320
Gran cocina para hoteles	320
Gran cocina de centro para hospitales	320
Cocina de diversos elementos	321
Asadora restaurante, Horno pastelería, Gratinador-asador, Parrilla-salamandra, Parrilla-bresadora	321
Diversos tipos de calienta platos	321
A la derecha cafetera rusa, a la izquierda baño maría de tres recipientes	322
Caldera o marmita, fregadero caliente y caldera grande	322

	Nº página
Marmita menor de 50 litros y de más de 50 litros	323
Chimenea Charing Cross	324
Fuego visible	324
Chimenea Renacimiento	325
Chimeneas con reflector y con hogar de coral	325
Chimeneas Luis XVI y Silva	325
Chimeneas con imitación de coque y tubos de incandescencia	325
Irradiador para estufas Vulkan	326
Estufas de cuerpos cerámicos	326
Esquema de reflector	326
Esquema de un calorífero	327
Caloríferos cerrados y de aire	328
Caloríferos con reflector, con recipiente de agua, parabólico decorados con hierro forjado, Calorífero “El Incandescente”	328
Diversos modelos de estufas	329
Esquema de un radiador	329
Radiador de fundición, radiadores Art Nouveau, radiadores rectangulares	330
Radiador de llama cerrada	331
Bañera Sabrina	331
Esquema de instalación de agua caliente	332
Calentadores con quemador móvil	333
Diversos modelos de calentadores de agua	333
Modelos de calentadores con calienta ropa	334
Calentadores rectangulares	334
Calienta ropas	335
Caldera de gas sistema Twaite	336
Caldera Phi con recipiente acumulador de agua caliente y caldera Phiradia	337
Caldera intensiva AM, caldera sistema Auer y caldera sistema G. Cantais	338
Esquema de calefacción central	339
Hornillo para plancha sin cubierta y con cubierta, plancha con quemador incorporado	340
Fogones para planchas múltiples	340
Plancha para peluquería y para guantes	341
Lejiadora enjabonadora	341
Tostadoras de café	342
Horno de pastelería. Horno de solera giratoria. Horno de fabricación de galletas	343
Tostador de café. Gran tostador. Tostador rápido. Tostador de tabaco	343
Horno de cementación. Horno de templado. Horno de dos soleras	344
Horno de recocido de solera inclinada. Horno de recocido de solera giratoria	345
Hornos de recocido en cadena. Horno continuo de fabricación de alambres	345
Lavadora Termidor. Lavadora Didion. Plancha de vapor con caldera de gas	346
Horno para esmaltado de bicicletas. Instalación de esterilización quirúrgica	346
Redes de gas natural en Europa en 1969	353
Holanda año 1960. Holanda año 1980	353
Redes de gas natural en Europa en 1987	354
El uso del gas en España	358
Entrada de gas natural y gasoductos españoles en 1987	360
Entrada de gas natural y gasoductos españoles en 1998	361
Estructura del sistema gasista español	361
Corte estratigráfico del yacimiento de Lacq, en Francia	362

	Nº página
Esquema de producción y tratamiento del yacimiento de Serrablo	366
Vista aérea de la plataforma del yacimiento Gaviota.	366
Esquema del proceso de eliminación de SH ₂ y CO ₂ del gas natural mediante adsorción	369
Esquema integral de una planta de tratamiento y licuefacción de gas natural licuado (LNG) y gas propano licuado	370
Esquema simplificado de un ciclo de licuación de gas natural mediante compresión-expansión	372
Esquema de la estación de licuefacción de Nantes, 1961	373
Esquema del ciclo de cascada	375
Esquema del ciclo de refrigeración del gas natural mediante refrigerante mixto	376
Esquema del ciclo de refrigeración mixto instalado en Marsa-el Brega (Libia)	376
Esquema del ciclo de refrigeración mixto mezclado con un proceso en cascada refrigerado con propano, instalado en Brunei	377
Compresor axial 4 de la planta de GNL de Skikda en Argelia de 80 MW	377
Marsa el-Brega, Argelia	377
Esquema del ciclo de refrigeración mixto instalado en Snøhvit	379
El sistema de transporte del GNL	380
Detalle de la técnica Conch utilizada en los buques metaneros ingleses	382
El buque Jules Verne	383
Detalle de la técnica del buque Jules Verne, 1965	383
Pytagore, el primer buque de transporte de metano y etileno con cubas integradas	384
Buque metanero "Venator" el primero construido en 1973 con la técnica Moss-Rosenberg	386
Detalle de un buque construido con la técnica Moss Rossemberg	386
El buque metanero Provalys en Montoir de Bretagne	389
La técnica Moss de recipientes esféricos se ha impuesto en el transporte de gas natural por mar	390
El buque Laietà con sus cuatro depósitos de gas natural licuado	391
Detalle del sistema de depósito del buque Laietà	392
El Buque Laietà en el puerto de Barcelona	392
Ciclo de carga de un metanero	393
El buque Methane Princess en Bilbao en diciembre de 2008	394
El buque metanero Cádiz Knutsen	395
El buque metanero Madrid Spirit	395
El buque Norman Lady en Sagunto en septiembre de 2008	396
Depósito de Nantes	398
Formas constructivas de los depósitos de gas natural licuado	399
Esquema simplificado de un terminal de LNG	401
Esquema de una planta de gas natural licuado	402
La estructura de refuerzo interior en fase de construcción del depósito de GNL de Barcelona	402
Planta de gas natural licuado de Barcelona. Procesos de separación y emisión	403
Torre de fraccionamiento del GNI	403
El buque metanero Aristotle	404
Terminal de GNL de Barcelona en el año 1979	404
Diagrama de flujo, Planta de regasificación de El Musel	406
Esquema de los equipos de un almacenamiento de gas natural	408
Esquema de un almacenamiento de gas en acuífero	409
Vista de las instalaciones del almacén subterráneo de Beynes	410
Domo de sal para un almacenamiento de gas natural	411
Esquema de formación de depósitos subterráneos en rocas salinas con inyección por abajo	413
Planta de almacenamiento de Serrablo	414
Gasoducto entre Texas y Nueva York de la <i>Transcontinental Gas Pipe Co.</i>	415
La canalización de transporte del gas natural de Lacq	417

	Nº página
Situación de la red de gasoductos de la URSS en 1973	417
Procedimiento de soldadura de tubos del gasoducto Bukhara – Urales, año 1967	418
Infraestructuras de transporte de gas natural en Europa en 1983	419
Estructura de la red de gas natural y gas manufacturado de Barcelona en 1973	420
El gas en España en 1980	421
Red de transporte de gas natural de la península Ibérica	423
Gasoducto en construcción	427
Soldadura de tubo en un gasoducto en Qatar	428
Recubrimiento de la soldadura. Gasoducto de gas natural construido en 1969 en Barcelona	428
Soldadura de tubo de acero	429
Carro magnético de inspección de gasoducto	429
Dibujo de un tren de limpieza y secado de un gasoducto	430
La protección catódica incorpora un ánodo que permite contrarestar la corrosión electroquímica presente en las estructuras metálicas enterradas	430
Aplicación de la resina epoxi y el polietileno en un tubo de acero	433
Yacimientos y gasoductos del Mar del Norte en 1979	434
Esquema de funcionamiento de un sonar lateral para el estudio morfológico del fondo marino	435
Tendido de tubos submarinos en aguas medias	436
Tendido de tubos submarinos en aguas profundas	438
Tendido del gasoducto de 42 “ de diámetro del proyecto Langeled en el Mar del Norte	438
Tendido en J (vertical) tendido en S	439
Rampa de tendido de la línea submarina	441
Colocación de los tubos y ejecución de la zanja	441
Tubos soldados y dispuestos a ser introducidos en la zanja	441
Rampa de tendido de la línea submarina	441
Un motor de pistón en una estación de compresión del gasoducto Tejas – Nueva York	442
Detalle de la estación de compresión de Langdon (Francia), año 1960	443
Salida de gas comprimido	444
Estación de compresión de Tivissa	446
Esquema de funcionamiento de una estación satélite de regasificación	449
Planta de gas natural licuado de Figueres	450
Esquema de la planta de satélite de 5.000 m ³ /h Manresa, 1985	451
Regasificador de GNL por agua caliente	451
Planta satélite de gas natural licuado situada en Puigcerdà	451
Esquema molecular del gas natural	454
Esquema de funcionamiento de la odorización	458
Esquema de un calentador de gas	461
Equipo de combustión de una caldera de vapor	462
Quemador de cocina. Puntos de regulación de la combustión en la operación de conversión	464
Caldera de gas con los dos inyectores que debían cambiarse con el cambio de gas manufacturado a gas natural	464
Tipos de uniones entre tubos de conducción de gas	467
Proyecto de introducción del gas natural en Barcelona y alrededores	468
Esquema de inyectores para gas manufacturado y para gas natural	469
Cambio de gas manufacturado por gas natural en la ciudad de Barcelona	470
Niveles de presión utilizados para el gas natural	473
Esquema general del sistema de suministro de gas natural	474
Red de alta presión de Barcelona en 1973-75	477
Estación reguladora de Cerdanyola	476
Canalización de tubería de acero, sistema de zanja y tubos preparados para la soldadura	476

	Nº página
Proyecto de la nueva red de distribución de gas natural en Asturias	477
Estación de regulación y medida, proyecto del año 1969	479
Estación de regulación y medida, proyecto del año 2008	480
Acometida de media presión B	481
Una de las primeras canalizaciones de polietileno de España en la red de gas natural de Montcada y Reixach, año 1980	481
Accesorio para proporcionar presión a la unión de tuberías por acople directo	484
Tubería de polietileno PE100 para media presión	484
Esquema de una junta de cáñamo y plomo en un tubo de fundición gris	487
Esquema de instalación de un recubrimiento tubular protector de poliuretano en el interior de tubos de hierro o fundición	488
Sistema de obturación de tubos de gas de baja presión mediante balones hinchables	489
Modelos de uniones entre tubos de PVC	489
Conexión de una acometida de gas natural en baja presión efectuada con tubo de polietileno	490
Tipos de uniones de tubos de polietileno “butt y socket fusion”	491
Unión de tubos de polietileno mediante accesorio con hilo eléctrico de calentamiento	491
Canalización de una de las primeras tuberías de polietileno en baja presión	492
Método de pasar tubo de polietileno dentro de tubos de fundición	492
Oficina de control de la red de distribución de Catalana de Gas en Barcelona año 1989-90	493
Centro de control de distribución de Gas Natural en Barcelona, año 2008	494
Centro de control de distribución de Gas Natural en Barcelona, año 2008	495
Información proporcionada por un cromatógrafo instalado en la red de gas natural	495
El regulador de presión trabaja con una presión Pa predeterminada y establecida por el muelle	496
Regulador de presión	497
Regulador de media presión con membrana de seguridad	497
Los reguladores de abonado	498
Esquema de funcionamiento de un regulador pilotado	498
Funcionamiento del contador de volumen de gas	499
Contador de membranas con depósitos de aluminio, fabricado hasta 1996	499
Contador de pistones rotativos (Kromschroeder S.A.) y funcionamiento del contador	500
El principio de la medida con una placa orificio o diafragma calibrado	501
Contador de turbina con el conjunto medidor	502
Esquema de contador por ultrasonidos	503

