

Destilación del carbón a baja temperatura

POR

GREGORIO AMUNÁTEGUI JORDÁN.

El problema de la destilación del carbón a baja temperatura ha avanzado tanto hacia su solución en los últimos cinco años, que ya está próximo el momento en que se generalice su aplicación en la industria.

No se trata de una idea nueva: Ya en la segunda mitad del siglo pasado, el sabio francés Marcellin Berthelot se había preocupado del problema de obtener hidrocarburos líquidos de los combustibles sólidos. Esos estudios fueron continuados por diferentes químicos, los que no abandonaron el campo de las investigaciones de laboratorio.

Inglaterra fué la cuna de los primeros ensayos industriales de la destilación del carbón a baja temperatura. Ellos fueron realizados entre 1906 y 1912 por diversas Compañías, cuyo fin era la obtención de un combustible sin humo para los hogares domésticos.

La Gran Guerra vino a dar a esos trabajos un vigoroso impulso: Privada casi completamente del petróleo, Alemania tuvo que preocuparse de obtener de otras fuentes los diferentes productos que le eran indispensables para sus maquinarias. El Instituto Kaiser Wilhem, fundado en 1914 en Mulheim, sobre el Ruhr, para el estudio del carbón, se ocupó de preferencia de extraer de la hulla, mediante la destilación, los diversos aceites lubricantes y combustibles que tienen de ordinario su origen en la industria del petróleo.

En esa época comenzaron también las tentativas inglesas y norte-americanas en pro de la instalación de grandes plantas para destilar carbón a baja temperatura.

Una vez terminado el conflicto, el resurgimiento industrial europeo y las nuevas luchas comerciales hicieron que esos trabajos continuaran su marcha progresiva.

Países como Estados Unidos e Inglaterra, alarmados por el agotamiento de las reservas de petróleo en un futuro no lejano; como Alemania, Francia y Bélgica que deben sufrir un vasallaje en esa industria, interesados todos ellos en buscar un aprovechamiento más racional de los combustibles sólidos, no han desperdiciado esfuerzos para llegar a una solución industrial del problema.

Han sido tan grandes los progresos realizados en la materia que ya puede considerarse como una realidad la industria de la destilación del carbón a baja temperatura. Sin embargo, tan encontradas han sido las opiniones emitidas sobre la materia, tan numerosos los procedimientos ensayados y tantos los intereses creados alrededor de la nueva industria, que es difícil formarse idea cabal del estado de adelanto en que ella se encuentra.

El presente artículo no tiene más pretensiones que la de ser un resumen de los datos y de las lecturas que hemos podido encontrar sobre la materia, tal como ella se halla en la actualidad.

Definición.—Creemos que es indispensable comenzar por una definición de la industria que nos interesa ya que el nombre que se le ha dado se presta a no pocas confusiones

Destilación a baja temperatura es aquella que es conducida de modo de obtener sus diferentes productos en el mismo estado en que ellos son originados es decir, antes que haya sido alterada su naturaleza primitiva debido a reacciones secundarias.

Para aclarar esta definición, hay que recordar que, al someter un carbón a un calentamiento progresivo, se encuentran dos temperaturas críticas: La primera está alrededor de los 350° C., ella marca el comienzo definitivo de la descomposición del carbón. A partir de este punto, los diversos elementos constitutivos de aquél (C,H,O,N,S) se agrupan en compuestos diferentes. La segunda temperatura crítica se encuentra entre 750° y 800° C. Ella está caracterizada por el hecho que los productos que se obtienen a una temperatura más elevada poseen propiedades características diferentes de las de aquellos que han sido obtenidos a temperaturas inferiores. Esto se debe a que, a partir de ese punto crítico, se originan reacciones secundarias entre los productos primitivos.

Hay, pues, una separación bien definida entre la destilación llamada "a baja temperatura" y la carbonización empleada en las fábricas de gas. En aquella, el combustible es sometido a una temperatura inferior al segundo punto límite, lo que permite recoger los productos en su primitivo estado; en la destilación a al-

ta temperatura el proceso comprende reacciones secundarias; las materias obtenidas difieren, pues, en *cantidad* y en *calidad*, según se haya empleado uno u otro procedimiento.

Más tarde insistiremos sobre este punto, el que ha dado origen a más de un error en las publicaciones de las Sociedades interesadas en la materia.

Objeto de la destilación.—Puede resumirse el objeto de la destilación a baja temperatura diciendo que ella conduce al *aprovechamiento económico* de los combustibles sólidos. Muchos cientos de millones de toneladas de carbón son consumidas anualmente en las faenas industriales y domésticas. Si ese carbón fuese destilado previamente se obtendría un combustible de gran poder calorífico que, al reemplazar a aquél, presentaría la enorme ventaja de quemarse *sin producir humo*, y los innumerables productos y sub-productos que antes eran desperdiciados por completo y que, *obtenidos sin gran dificultad*, permiten el reemplazo del petróleo y sus derivados.

Influencia de la temperatura.—Al calentar un carbón más allá de su punto de descomposición, se obtienen dos diferentes materias: un residuo sólido y una porción volátil, la que está compuesta por vapores de agua, gas y alquitrán.

Hemos dicho que la *naturaleza* y la *cantidad* de estos productos varían con la temperatura a la cual se ha realizado la destilación. Es necesario dejar bien establecido que los rendimientos en gas y en alquitrán dependen de esa temperatura y que *siguen leyes contrarias*: mientras la cantidad de gas varía proporcionalmente a la temperatura, la de alquitrán lo hace inversamente a ella. En el prospecto de una Compañía Chilena, hemos visto hacer la comparación entre la cantidad de alquitrán obtenida mediante la destilación de su carbón a baja temperatura y aquella que otros carbones producían al ser destilados en una fábrica de gas. Es un error intentar sacar deducciones de esas cifras, ya que el rendimiento en alquitrán disminuye al elevarse la temperatura de la destilación.

Reduciendo al sistema métrico decimal un cuadro obtenido por el profesor inglés Vivian B. Lewes, el que aparece en "Low Temperature Carbonisation" por S. N. Wellington y W. R. Cooper (1924), tenemos los datos siguientes, que muestran la variación, con la temperatura, de los rendimientos de gas y de alquitrán y del peso específico de este último. Las cifras se refieren, naturalmente, a los resultados encontrados al destilar un carbón dado.

TEMP. DE LA DEST.	VOL. DE GAS. TON.	CANT. DE ALQ. TON.	PESO ESP. DEL ALQ.
900° C	311 m ³	45,5lt.	1,200
800	283	54,5	1,170
700	255	68,1	1,140
600	220	81,6	1,115
500	182	91,6	1,087
400	142	104,7	1,060

Según este cuadro, el volumen de gas *disminuye* a menos de la mitad al descender la temperatura de 900° a 400°; en cambio, al alquitrán obtenido *aumenta* de 54,6 kg. a 111 kg., o sea de 5,5% a 11% en peso del combustible tratado. Hemos podido comprobar estas deducciones por todos los conductos a que hemos recurrido.

Así, pues, mientras los fabricantes de gas de alumbrado deben destilar el carbón a elevadas temperaturas para obtener el máximo del rendimiento, en cambio, en la industria de los sub-productos no se podrá sobrepasar cierta temperatura, puesto que lo que se trata de lograr es el mayor porcentaje posible de alquitrán el que constituye la materia prima para la obtención de los múltiples derivados. Esa temperatura más favorable para efectuar la destilación varía, naturalmente para los diversos carbones en cada caso; ella debe ser fijada experimentalmente. Puede decirse que sus límites son 400° y 550°.

Productos y sub-productos.—Los primeros productos de la destilación del carbón son como es sabido, un residuo sólido y una porción volátil. De esta última se obtiene, por condensación la separación del alquitrán y de las aguas amoniacales, quedando en libertad el gas de alumbrado. En seguida una decantación permite aislar el alquitrán de las aguas amoniacales.

Tenemos, entonces, los siguientes productos de la destilación: un *residuo sólido*, un *gas*, un *alquitrán* y *aguas amoniacales*. Se ha dicho ya que la temperatura a la cual se ha efectuado la operación hace variar el rendimiento y las propiedades de estas materias. Hemos dado anteriormente algunas cifras que muestran la variación de los productos en cantidad. Es interesante conocer ahora, datos medios acerca de los productos obtenidos en la destilación a baja temperatura. Hay que anotar a este respecto la diferencia que existe entre los resultados de experiencias de laboratorios y los de procedimientos industriales. Las primeras son hechas en condiciones que no pueden realizarse en las grandes faenas, lo que hay que tomar en cuenta

para no ilusionarse demasiado con las cifras así obtenidas. A este respecto, la revista "Chimie & Industrie" de Mayo 1923 dice que "los aparatos industriales más perfeccionados no permiten obtener más del 85% del rendimiento en alquitrán indicado por las retortas de laboratorio".

La obra ya citada de Wellington y Cooper da los siguientes datos medios sobre el rendimiento de una destilación industrial a baja temperatura:

PRODUCTOS.	RENDIM. POR TON. DE CARBÓN DEST.
Gas.....	170 a 198 m ³
Alquitrán.....	82 a 118 lt.
Sulfato de amonio.....	5 a 10 kg.
Residuo sólido llamado generalm. semi-coke..	700 kg.

A. Mc. Culloch y N. Simpkin en "Low Temperature Carbonisation of Bituminous Coal" dan las cifras siguientes:

PRODUCTOS	RENDIM. POR TON. DE CARBÓN.
Gas.....	85 a 170 m ³
Alquitrán.....	90 lt.
Semi-coke.....	750 kg.

En "Chimie et Industrie" de Mayo 1923 aparecen los siguientes datos tomados de "Stahl und Eisen" 1920, pág. 742, relativos al rendimiento de una gran instalación de la fábrica Thyssen, de Mulheim, de la cual hablaremos más adelante.

La destilación de una tonelada de carbón graso de llama larga da:

130 kg. de alquitrán
 150 m³ de gas
 650 kg. de semi-coke.

Se desprende de las cifras anteriores que, para un estudio preliminar, puede considerarse que una tonelada de carbón destilado a baja temperatura proporciona los siguientes productos:

Gas..... 150 m³

Alquitrán.....	100 kg.	(su p. esp. es muy poco sup. al del agua).
Sulfato de amonio..	8 kg.	
Semi-coke	700 kg.	

Gas.—Su poder calorífico, después del debenzolaje, es, término medio, alrededor de 6 000 calorías. De este gas puede extraerse 12 a 14 litros de esencias o hidrocarburos livianos, por tonelada de carbón destilado. Estas cifras varían, naturalmente, según cuáles sean los combustibles y los procedimientos empleados.

Amoniaco.—En la destilación a baja temperatura, se obtiene menor cantidad del amoniaco que en la carbonización a alta temperatura. Esto se debe a que gran parte del nitrógeno contenido en el carbón no alcanza a combinarse y queda en la masa del semi-coke. El rendimiento en amoniaco aumenta con la temperatura hasta llegar a cerca de 900°; pasado este punto, el amoniaco se descompone y su rendimiento disminuye.

Tratando el semi-coke obtenido por destilación a baja temperatura, puede obtenerse una gran parte del amoniaco residual, en forma de sulfato; la conveniencia de efectuar esta operación depende de factores económicos.

Semi-coke.—Hay que concederle particular importancia al residuo sólido obtenido en la destilación, puesto que, si se llega a conseguir un combustible que reemplace al carbón primitivo en los usos domésticos e industriales, se habrá dado un gran paso hacia la solución económica del problema de la destilación a baja temperatura.

En efecto, de una tonelada de carbón destilado se obtiene un término medio de 700 kg. de semi-coke. Si este último tiene, como combustible, un valor equivalente al de aquél, la conveniencia de efectuar la destilación de los carbones se presenta en la siguiente forma: Para que la operación sea un negocio, el valor del gas, del amoniaco y de los subproductos derivados del alquitrán debe ser superior, por tonelada de combustible, al valor de 300 kg. de carbón aumentado por el costo unitario de las instalaciones.

Las principales cualidades que debe poseer un combustible, para que su uso sea ventajoso en las tareas domésticas, son: Encender con facilidad, no producir humo; tener sólo cierta proporción de materias incombustibles (ceniza, humedad); poseer un buen poder calorífico; ser lo suficientemente duro y compacto para que no sea difícil el transporte del productor al consumidor.

Como resultado de las condiciones mismas del proceso, el semi-coke obtenido en la destilación a baja temperatura tiene mayor porcentaje de materias orgánicas volátiles que el coke producido en las faenas de gas: 10% en lugar de 2%. La presencia de esas materias hace que el semi-coke *se encienda con facilidad*. Tiene, además, este combustible, la ventaja de quemarse sin producir humo: Los carbones empleados comúnmente en los usos domésticos tienen un porcentaje de materias volátiles superior a 30%. Al calentarlos hasta 400, pierden humedad, agua de constitución y la porción de las substancias volátiles formada por los hidrocarburos pesados, materias a las cuales se debe la formación del humo. Luego, el semi-coke, gracias a su porcentaje de materias volátiles puede cumplir a la vez con las dos condiciones exigidas: quemarse fácilmente y no ser perjudicial a la salud.

Es conveniente que un combustible tenga un porcentaje de cenizas inferior a 10% y de humedad no superior a 5%. El semi-coke cumple sobradamente con esta última condición; en cuanto a su tanto por ciento de cenizas, éste depende del porcentaje existente en el carbón original. Las experiencias hechas con combustibles ingleses indican que, para obtener un semi-coke conveniente, desde este punto de vista, es necesario emplear carbones que no tengan más del 7% de cenizas.

El semi-coke tiene excelentes condiciones caloríficas; en algunos casos su poder calorífico ha sido superior al del carbón empleado, debido a la desaparición con la destilación, de algunas materias no combustibles contenidas en éste. Así por ejemplo, en experiencias hechas en la Universidad de Illinois, se ha obtenido al destilar carbones de 7 000 calorías, residuos sólidos de 7 300 calorías.

El semi-coke es un combustible muy poroso, lo que facilita la combustión. Debido a esto, tiene menor peso específico que el coke obtenido en las fábricas de gas. Este es un inconveniente para el transporte y para el uso, ya que una misma cantidad en peso abarca un volumen mayor que el del coke.

El residuo obtenido en algunos de los procedimientos modernos de destilación tiene la desventaja de su poca dureza. Sin embargo, los adelantos hechos por el uso de combustibles pulverizados parecen abrirle un nuevo campo de aprovechamiento.

Alquitrán y sub-productos.—Se ha dicho ya que, al destilar una hulla a baja temperatura, se obtiene alrededor de 100 litros de alquitrán el que presenta características diferentes de las que poseen los alquitranes originados por otros procedimientos. Al efecto, según cuales sean las temperaturas empleadas pueden distinguirse tres distintos tipos de alquitranes obtenidos por destilación:

Una hulla destilada entre 400° y 500° C. da un alquitrán *parafínico* ;
 " " " a más de 750° " " " *bencenoideo* ;
 " " " entre 550° y 750° " " " *propiedades interm.*

Los alquitranes obtenidos a baja temperatura están caracterizados por su bajo peso específico, el que excede raramente de 1,08; en ellos predominan los hidrocarburos de la serie de las *parafinas*. El aumento de temperatura origina, como ya se ha dicho, reacciones secundarias que tienen como resultado la formación de hidrocarburos aromáticos de la serie de los *bencenos*.

Para poder estudiar la composición del alquitrán que nos interesa, conviene partir de la del alquitrán obtenido a alta temperatura:

Según "Coal Tar Distillation" por A. R. Warrens (1923), los alquitranes producidos a alta temperatura contienen, a lo menos, 210 compuestos químicos definidos. 120 de éstos han sido aislados definitivamente, encontrándose que 58 son hidrocarburos; 20 compuestos oxigenados, 15 compuestos que contienen azufre y 27 compuestos nitrogenados. Una clasificación rápida de estos cuerpos es la siguiente:

I. *Hidrocarburos*.—(C, H). Se encuentran de preferencia en el alquitrán los hidrocarburos siguientes:

I *Alifáticos*.—Estos comprenden los hidrocarburos saturados de la serie de las *parafinas* ($C_n H_{2n+2}$) y los no saturados de la serie *alifática* u olefinas ($C_n H_{2n}$).

II *Aromáticos*.—Estos son los hidrocarburos no saturados de la serie de los *bencenos* ($C_n H_{2n-6}$).

III. *Hidro-aromáticos* o cíclicos.—Son éstos los hidrocarburos saturados de la serie de los *naftenas* ($C_n H_{2n}$).

Además, se encuentran presentes en pequeñas cantidades las siguientes series: *acetileno*, *naftaleno*, *naftaleno* y *antraceno*.

2. *Compuestos oxigenados*.—(C, H, O.) Son derivados de la serie de los *bencenos*, en los cuales uno o más átomos de H han sido reemplazados por el hidroxilo OH. Generalmente, son llamados *ácidos del alquitrán* o *fenoles* y su clasificación se hace según el número de hidroxilos que contienen.

El primer miembro de la serie de los fenoles *monohidroxidos* es el *fenol*. Este es un sólido venenoso, usado en la preparación de desinfectantes, y base de la síntesis de los nitrofenoles, ácido salicílico, fenacetina, etc. Se le llama también *ácido carbólico*.

Los tres miembros siguientes son los *creosoles*, los que, juntos, forman el líquido llamado *ácido cresílico*, que posee cualidades antisépticas.

Los seis miembros siguientes son los *xilenoles*. Juntos, ellos forman un líquido de fuertes cualidades antisépticas.

3. *Compuestos sulfurados*.—(C, H, S). Están presentes en el alquitrán en pequeñas cantidades; su separación de los otros compuestos es difícil y cara.

4. *Compuestos nitrogenados*.—(C, H, N). Comprenden compuestos básicos y no básicos. Entre los primeros están: la *anilina* y sus homólogos, la *piridina* y sus homólogos y la serie de las *quinolinas*. Compuestos no básicos son: el *acetronil*, el *párrol*, el *benzonitril* y el *carbazol*.

El alquitrán obtenido mediante la destilación a baja temperatura tiene la siguiente composición:

1. *Hidrocarburos*.—(50% o más). Estos son miembros de la serie de las *parafinas*, *olefinas* y *naftenos*. Hidrocarburos aromáticos, como benceno, tolueno y sus homólogos, están: o ausentes o presentes sólo en pequeñas cantidades. Esto se debe, según las experiencias de los investigadores americanos Whitaker y Crowel, a que el tolueno y el xileno comienzan a formarse a 400 y el benceno a 500; la producción máxima de estos compuestos se realiza a temperaturas superiores 600.

En cuanto a naftalenos y antracenos, ellos están ausentes por completo.

2. *Compuesto oxigenados*.—(25% o más). Son más abundantes que en el alquitrán obtenido a alta temperatura. El fenol ordinario sólo está presente en pequeñas cantidades; en cambio, los *creosoles* forman 1 a 2% del total del alquitrán. Los *xilenoles* están también en la proporción de 1 a 2%; el resto de los compuestos oxigenados está formado por fenoles altos y resinas. De las series polihidroxidas figura, especialmente, el catecol.

3. *Compuestos sulfurados*.

4. *Compuestos nitrogenados*.—Estos no alcanzan a formar el 1% del alquitrán. Hay piridina.

Haciendo un resumen, las principales características del alquitrán obtenido a baja temperatura, que lo diferencian del que origina a alta temperatura, son:

Menor peso específico, el que es sensiblemente igual al del agua; predominio,

entre los hidrocarburos, de las parafinas, olefinas y naftenos, y ausencia casi completa de los bencenos; mayor proporción de cuerpos oxigenados.

Al destilar fraccionadamente el alquitrán, se forman 5 ó 6 compuestos; éstos son aceites de diferentes densidades, las que dependen de las temperaturas parciales a que han sido obtenidos los destilados. El residuo de la destilación es la brea.

De esas fracciones se extraen, por diversos procedimientos, numerosos productos de alto valor comercial; Una vez hecha la separación de los fenoles o ácidos del alquitrán, la porción de los hidrocarburos suministra compuestos similares a los obtenidos del petróleo crudo, es decir, esencia, aceites combustibles, aceites para el lavado del gas, lubricantes, etc. De la fracción pesada se extrae la parafina.

Los fenoles proporcionan ácido carbólico o fenol ordinario, ácido cresílico, resinas, etc. Estos compuestos tienen marcadas propiedades antisépticas, por lo que son empleados en la fabricación de desinfectantes y para la preservación de la madera. A este respecto, algunos autores aseguran que los fenoles originados mediante la destilación a baja temperatura tienen mayor efecto preservativo que a creosota extraída del alquitrán de alta temperatura, atribuyendo esa ventaja a la ausencia de naftaleno en los primeros.

Finalmente, entre los compuestos nitrogenados del alquitrán de baja temperatura, la piridina y otras bases son empleadas como disolventes; en cuanto a la brea obtenida, ella es parecida al asfalto de petróleo y puede, por tanto, ser usada en pavimentación, etc.

El rendimiento en sub-productos varía, naturalmente, con la calidad del carbón tratado y con los métodos empleados para la extracción de ellos. Además, la obtención de más o menos productos depende muchas veces de las condiciones del mercado a que se les destina. Todo esto hace que las cifras dadas a conocer por los fabricantes y experimentadores presenten escasa analogía. Para dar datos medios, reproduciremos, aquí, previa reducción al sistema decimal, algunas cifras de la tabla LXXXVIII de la obra ya citada de Wellington & C^ooper. Según ella, además del gas de alumbrado, los productos obtenidos por destilación a baja temperatura de una tonelada de carbón bituminoso son:

Sulfato de amonio (proceso simple)	5 a 10 kg.
Esencia para motores, 90% benzol, extraída	
del gas	11 a 15 lt.
Esencia para motores, extr. del alq	15 a 19 »
“Rubber solvent”	2 a 3 »

Acido cresílico, 98%.....	9 a 11	>
Aceite ligero de creosota (aceite de lavado) ..	4	>
Aceite combustible "Diesel".....	13 a 14	>
Aceite lubricante.....	6 a 7	>
Brea	36 a 43 kg.	
Semi-coke.....	700 a 750 kg.	

LOS DIVERSOS PROCEDIMIENTOS DE DESTILACIÓN A BAJA TEMPERATURA.

El gran escollo encontrado en la realización industrial de la destilación a baja temperatura ha sido la dificultad de obtener, en un período de tiempo razonable, una temperatura uniforme en toda la masa del combustible tratado. Esto se debe a la mala conductibilidad del calor por el carbón.

Al intentar la destilación de cierta cantidad de hulla en un horno cualquiera se encuentra que, para elevar la temperatura del interior de la masa del combustible hasta el punto deseado, se necesita calentar la retorta durante un gran número de horas y que, aun así, es imposible uniformar la temperatura en toda la masa tratada. Se obtiene, entonces, un mal rendimiento en la operación, debido a que las capas interiores de combustible no dan toda la cantidad de productos de que son capaces y a que la larga duración del proceso origina un sobre-calentamiento de los vapores de alquitrán, lo que se traduce en una destrucción de los hidrocarburos obtenidos.

Ha sido, entonces, necesario idear, métodos, que aseguren la uniformidad de calentamiento en toda la masa del combustible tratado: Algunos constructores han intentado obtener esa uniformidad mediante la disminución del ancho de las cámaras de carbonización; otros han ideado hornos en los cuales el combustible está animado de un movimiento constante, ya sea mediante una rotación del horno, ya sea gracias a transportadores o agitadores interiores. Finalmente, gran número de los procedimientos modernos se basan en un calentamiento interno de las retortas de destilación.

I) *Sistemas que emplean retortas calentadas exteriormente.*

1.—*Retortas en las cuales el carbón está estacionario durante la destilación.*—

Esta categoría está formada por *retortas verticales*, en las cuales se ha tratado de remediar el inconveniente de la mala conductibilidad del carbón mediante una disminución del espesor de la masa tratada. Con este fin se han proyectado *retortas muy angostas*. Esto tiene el grave inconveniente de que hay una excesiva área

de calentamiento que debe ser mantenida a una temperatura uniforme. El procedimiento resulta, entonces, demasiado costoso: hay en él gastos muy elevados de instalación y de mano de obra y un desperdicio de calorías, sin que se logren solucionar muy satisfactoriamente los inconvenientes de la mala conductibilidad del carbón. Hay que señalar, además, la dificultad que se presenta para hacer la descarga de retortas muy delgadas: La gran expansión que experimenta el carbón al ser calentado hace que el residuo se apriete contra las paredes del horno; así se dificulta la descarga de éste, puesto que sus paredes no pueden tener gran inclinación, ya que el espesor de la carga es limitado.

Las primeras instalaciones de hornos de esta naturaleza fueron ejecutadas en Inglaterra entre 1906 y 1912, por cuenta de las Sociedades: *Coalite Ltd.*, *British Coalite Co.* y *Eticoal Syndicate Ltd.* El objeto perseguido por estas Compañías era la fabricación de un combustible sin humo o "coalite" para los hogares domésticos.

En 1911, la *British Coalite Co.* llegó a instalar en Barking, cerca de Londres, una planta de 20 retortas para trafar hasta 32 toneladas de carbón al día. Las retortas eran verticales, estaban formadas por la unión de dos segmentos cónicos de fundición. Su calentamiento se hacía por medio de quemadores de gas, en los que se utilizaba, después de lavado, el gas originado en la destilación. A pesar del débil ancho de la sección de la cámaras, cada carga debía permanecer en ellas entre 6 y 8 horas. Este sistema presentaba todas las desventajas anotadas anteriormente.

En 1915, varias de las antiguas Compañías se fusionaron y dieron origen a la *Low Temperature Carbonisation Ltd.*, la que hizo sus instalaciones cerca de Barnsley, Yorkshire. La planta que funciona actualmente se compone de retortas verticales, hechas de ladrillos refractorios. Las dimensiones de cada cámara son: 2,9 m. de alto, 28 cm. de ancho, 2,2 m. de largo en la base superior y 2,3 m. en la base inferior.

En esta instalación moderna, se ha tratado de solucionar la doble dificultad de la expansión del carbón y del sobre-calentamiento de los productos mediante el dispositivo siguiente: Cada retorta está dividida verticalmente, en toda su altura, por medio de dos tabiques de fundición perforados, a los que se puede dar cierto movimiento desde el exterior del horno. La carga se coloca entre las paredes de ladrillo y las de fundición, de modo que queda libre el espacio entre estas últimas, el cual posee una temperatura más baja que el resto de la retorta. Al efectuarse la destilación, el gas y los vapores de alquitrán pasan, por las perforaciones de los tabiques, a ese compartimento más frío, evitándose así la descomposición

de los productos que tiene lugar cuando ellos deben encontrar sus salida a través de una masa caliente de combustible.

Para descargar el residuo, se mueven los tabiques, acercándolos uno del otro, y se abre una compuerta cilíndrica inferior: El semi-coke cae, entonces, a una cámara de acero, circundada por agua en constante circulación, donde se enfría: Ahí se le deja durante las ocho horas que dura la destilación de la siguiente carga de hulla.

Las retortas se calientan con gas; en la planta actual hay necesidad de emplear gas de generador, además del originado en la destilación, pues éste, si bien posee un alto poder calorífico, no es producido en la cantidad necesaria para el funcionamiento de la instalación.

Un dispositivo semejante al anterior es utilizado en las retortas *Wallace*, las que consisten en un tubo cilíndrico de fundición, perforado, alrededor del cual está la cámara de combustión.

La Sociedad inglesa *Tarless Fuel Syndicate* ha hecho en BATERSEA una instalación industrial de retortas verticales *Tozer*. Estas retortas consisten en dos anillos concéntricos de fundición, unidos por piezas radiales; en el centro hay, además un tubo al cual se hace llegar la materia volátil, para evitar, así, su sobre-calentamiento. La carga se coloca en los dos espacios inter-anulares, los que tienen un espesor inferior a 10 cm. La pared exterior se calienta por medio de quemadores de gas, el calor se trasmite al cilindro interior por los tabiques radiales. La operación dura alrededor de 5 horas; la capacidad de cada retorta es de 1250 kg.

Destilando, en la planta de BATERSEA, un carbón de Yorkshire de 29,49% de materias volátiles, se ha obtenido los productos siguientes, por tonelada de carbón: 14 lt. de esencia para motores, 11 lt. de aceites medios, 39 lt. de aceites combustibles, 4 kg. de parafina, 23 kg. de brea, 700 a 750 kg. de semi-coke y 140 m. de gas.

En la actualidad, se están construyendo, en Europa Central, dos plantas de retortas *Tozer*, para tratar 200 y 350 ton. de combustible respectivamente.

Las desventajas que se atribuyen a este sistema son: no es posible destilar carbones que sufran una gran expansión al ser calentados; es difícil la descarga del residuo; hay una diferencia notable de duración de calefacción y de temperatura entre las dos cámaras, debido a que el calor debe transmitirse de un cilindro a otro.

2. *Retortas en las cuales el carbón tiene un movimiento durante la destilación.*— Estos procedimientos han sido ideados para evitar los inconvenientes que se presentan en el tipo de retortas descritos anteriormente. Sin embargo, hay técnicos

que aseguran que el semi-coke o residuo obtenido de este modo tiene poca consistencia y que es necesario someterlo a un tratamiento posterior si se le quiere utilizar en buenas condiciones.

Un sistema muy empleado en Alemania es el de los *hornos rotatorios*. En éstos, el movimiento del tambor pone en contacto, de un modo continuo, las diversas partículas de carbón con la pared caliente de la retorta, de modo que el calor no tiene necesidad de atravesar todo el espesor de la carga. El horno no se llena sino en parte, para que se efectue en buena forma el contacto entre la pared caliente y los fragmentos del combustible. El espacio libre facilita la marcha de los productos hacia el conducto de salida.

El inventor del horno rotatorio ha sido el profesor *Fisher*, director del Instituto establecido en Mulheim para el estudio del carbón. En esa ciudad ha sido construido un horno de esta clase en los Establecimientos *Thyssen*. Este tipo de retortas tiene analogía con los hornos empleados en la industria del cemento: se trata de un cilindro de acero, de 20 a 25 m. de largo y 2 a 2,5 m. de diámetro, el cual gira alrededor de un eje horizontal, estando encerrado en un macizo refractario. Su capacidad es de 70 a 100 ton. diarias. El calentamiento se hace por medio de quemadores de gas colocados debajo del horno.

En páginas anteriores hemos dado datos sobre la cantidad de productos obtenidos en las instalaciones de *Thyssen*. El rendimiento en alquitrán es bueno y no hay dificultad para hacer la descarga del semi-coke, ya que éste no adhiere a las paredes del tambor. Sin embargo, no son pocas las desventajas que se atribuyen a este sistema: el residuo tiene poca consistencia; la carga ocupa un volumen muy pequeño en relación al que es abandonado a los gases; el gran peso del horno 100 ton. encarece la producción. Además, las paredes de la retorta están sometidas a un calentamiento intermitente; para evitar su destrucción hay que emplear, en el hogar, temperaturas que no excedan de 800°, lo que obliga a quemar el gas con un gran exceso de aire: se obtiene, así, un mal rendimiento térmico.

Un diseño muy parecido al anterior es el del horno americano *Thomas*. Este presenta una mejor distribución de los quemadores de gas, los que están repartidos en toda la circunferencia de la retorta.

Otro horno rotatorio horizontal es la retorta inglesa *White*, que ha sido ensayada en *Chiswick*. Esta presenta la particularidad de poseer en su interior un eje horizontal en forma de tornillo, el que facilita la descarga del residuo y el movimiento de la carga dentro de la retorta.

Uno de los principales inconvenientes que se atribuye al empleo de los hor-

nos rotatorios es, como se ha visto, la escasa densidad del residuo obtenido. El profesor Fisher ha tratado de buscar remedio a esto colocando, en el interior del horno, un tubo que descansa sobre la capa de combustible; esta compresión aumenta la consistencia del semi-coke. Hemos encontrado la aplicación de esta idea en la retorta inglesa "Fusion", patentada por M. S. Hutchins. El sistema consiste en dos tubos rotatorios concéntricos, los que, por medio de un dispositivo de engranajes, giran en sentido contrario. El largo de los cilindros es 6 m., sus diámetros son: 46 y 76 cm., dentro del tubo interior hay un "quebrador" parecido a una rueda de paletas, pero que sólo tiene 4 o 6 hojas. Este está colocado libremente en el cilindro, de modo que, al producirse la rotación, el "quebrador" golpea la masa de combustible. El cilindro exterior está rodeado por la cámara de calefacción. El carbón, que es pulverizado previamente, pasa a lo largo del tubo interior y va a caer en el exterior, donde se opera la destilación completa.

Otro sistema empleado en la carbonización a baja temperatura es el de *retortas provistas de un agitador interior*. Hornos de esta clase son los usados en Norte América por la International Coal Products Corporation, la que explota el procedimiento *Smith* para la fabricación del combustible sin humo llamado *carbocoal*. La Corporación, que trabaja bajos los auspicios del Gobierno de los E.E. U.U., ha construido plantas de destilación en New Jersey y en Virginia; esta última, que trabaja desde 1920, tiene una capacidad de 550 ton. diarias.

Este proceso es una combinación de destilación a baja y alta temperatura: el carbón es destilado primeramente a 480° en retortas continuas, en las cuales es agitado durante toda la operación; se obtiene, así, gran cantidad de alquitrán, gas de alto poder calorífico y un residuo pulvurulento o semi-carbocoal. Este residuo es, enseguida, molido y mezclado con cierta cantidad de brea; el compuesto así formado es briquetado y sometido más tarde a una destilación a 1000° ó 1100°. Como resultado de ésta se obtiene, además de alquitrán, gas y aguas amoníacales, un residuo sólido, duro y resistente, que es el carbocoal.

La destilación a baja temperatura dura alrededor de dos horas para cada carga; ella se efectúa en retortas horizontales fijas, de 6 m. de largo, 2,1 m. de ancho y 1,5 m. de alto, hechas de material refractario, las que trabajan de un modo continuo. La capacidad de cada retorta es 1 ton. por hora. El calentamiento se hace por medio de quemadores de gas, en los que se utiliza una mezcla de los gases producidos en las dos destilaciones; el aire necesario a la combustión es calentado previamente por medio de recuperadores. En el interior de cada retorta hay dos ejes

con paletas, los que, girando a razón de 8 r. p. m., agitan el combustible y aseguran, así, su uniforme destilación y su avance a lo largo del horno.

La destilación a alta temperatura de las briquetas fabricadas con el semi-carbocoal se efectúa en baterías de retortas rectangulares inclinadas; la capacidad de cada una de ellas es 60 a 75 ton. de briquetas por día. Esta segunda destilación dura de 5 a 6 horas. El calentamiento se efectúa, también por combustión de una mezcla de los gases originados en el proceso.

El rendimiento medio de la destilación, mediante el procedimiento Smith de 1000 ton. de carbón bituminoso de 35% de materias volátiles, fué el siguiente por ton. de combustible:

Briquetas de carbocoal	700 kg.
Sulfato de amonio	10 kg
Esencia para motores	10 lt.
Fenoles, princ. ácido cresílico	20 *
Aceite neutrales	16 *
Aceites de creosota	20 *
Aceites de creosota pesados	30 *
Sobrante de gas.....	57 m3.

El total de gas producido en las dos destilaciones fué de 285 m3., de los cuales 228 m3. se emplearon en el calentamiento del conjunto de retortas. La brea originada fué utilizada en la confección de las briquetas, mediante mezcla con el semi-carbocoal. El combustible sin humo producido ha sido ensayado con satisfactorios resultados.

Antes de terminar con la enumeración de los tipos de retortas calentadas exteriormente, debemos mencionar aquellos sistemas que dan movimiento al combustible por medio de *transportadores*. Entre ellos está la retorta americana *Sumers*, experimentada en Illinois, la que consiste en una ancha cámara rectangular, de altura reducida, calentada por medio de quemadores de gas. El carbón es pasado lentamente a través de ella por medio de un transportador metálico. Retortas muy semejantes a ésta son: la *Traer*, de fabricación americana, y uno de los hornos usados en la *Fuel Research Station*, planta experimental situada en los alrededores de Londres.

Por fin citaremos el sistema *T. I. C.* (Thermal Industrial Research Co.), que

posee características especiales: la retorta consiste en un recipiente de acero que contiene plomo derretido; en su interior hay, además, un tambor rotatorio. Esta retorta está colocada encima de un horno, en el que se emplea, generalmente, el gas originado en la destilación. El carbón, molido previamente, es llevado a una tolva de alimentación, desde donde cae al interior de la retorta. Una vez ahí, gracias a su menor peso específico, flota sobre el metal fundido, hasta que es cogido por el tambor rotatorio y sumergido en el baño de metal. Se efectúa, entonces, la destilación: el residuo de ella vuelve a salir a la superficie al otro lado del tambor. Los gases emergen también del baño de plomo y son recogidos por un eyector: pasan a través de éste con gran velocidad y arrastran, así, las partículas flotantes de semi-coke. Este es separado, más tarde, de la materia volátil, la que es llevada a los condensadores.

Como se ve, este sistema difiere grandemente de los métodos ordinarios de destilación. En el Boletín Minero de la Sociedad Nacional de Minería, número de Abril-Mayo de 1923, hemos encontrado la descripción de un procedimiento análogo, según el cual el carbón destinado a la destilación atraviesa un baño de plomo fundido mediante un transportador sin fin. Según el artículo mencionado, este método, basado en una idea del técnico belga *Piron*, es explotado por el conocido industrial americano *Ford*.

II) SISTEMAS QUE EMPLEAN RETORTAS CALENTADAS INTERIORMENTE.

En estos procedimientos modernos, la destilación se efectúa por medio de una corriente de gas caliente o de vapor recalentado que pasa a través de la masa del combustible tratado.

El gas que sale de un generador tiene una temperatura elevada, este calor se pierde si es necesario enfriar el gas antes de utilizarlo; en cambio, al ponérselo en contacto directo con una masa de carbón encerrado en una retorta, provoca la destilación de ésta a baja temperatura.

Al parecer, éste es el mejor sistema de destilación de los combustibles, ya que resuelve el problema de la mala conductibilidad del carbón. Otra de sus ventajas es que el gas de generador se enriquece al efectuarse su mezcla con el gas de destilación del combustible. La mayor dificultad que presenta la aplicación de este método es la necesidad de proporcionar una salida apropiada a los grandes volúmenes de gas empleados.

Un tipo de planta de gran interés ha sido ideada por el ingeniero inglés M. H. Nielsen. Este método, conocido bajo el nombre de *proceso L. N.*, es explotado por su inventor en sociedad con M. B. Laing. Hemos podido estudiar el procedimiento gracias a los datos proporcionados por la firma inglesa mencionada.

El sistema Nielsen consiste esencialmente en la combinación de un generador ordinario con una retorta de destilación a baja temperatura. El gas producido en aquel pasa a través del carbón contenido en la retorta, lo destila gracias a su alta temperatura y sale, ya frío habiendo aumentado considerablemente su poder calorífico mediante la mezcla con el gas de la destilación.

Como ejemplo de una planta de destilación de este tipo, se puede considerar la de la Carbon Products Company, establecida en la India, con capacidad para destilar 100 ton. diarias.

La destilación a baja temperatura se efectúa en una retorta de acero rotatoria, rodeada por dos revestimientos superpuestos: el uno de ladrillos refractarios y el otro de material aislador. Su largo es 27 m., la mitad de ella tiene 2,1 m., de diámetro y el resto 2,7 m. Cerca del extremo de esta parte más ancha, la retorta está rodeada por un anillo de 4,3 m., de diámetro, al cual, mediante puertas especiales, cae el residuo de la destilación. En el otro extremo, la retorta está unida a una porción fija de 1 m., de diámetro, en la que se encuentran la salida de los gases y el mecanismo de alimentación del carbón. Para permitir el avance del combustible a lo largo de la retorta, ésta tiene una ligera inclinación. La entrada de los gases calientes se efectúa cerca del punto en que el residuo es descargado; la marcha de ellos se realiza en sentido contrario al del material tratado, produciéndose, así, la máxima eficiencia. La operación, que se efectúa entre 550° y 600°, tiene una duración de 2 ½ a 3 horas.

El carbón que ha servido de tipo para el cálculo de la retorta tiene un poder calorífico de 6333 calorías y contiene 31, 1% de materias volátiles. Su destilación produce, por ton. 140 m³. de gas de 6500 calorías, 81 kg. de alquitrán de 9 000 calorías por kg. y peso específico 1 076, y 735 kg. de residuo. Este último posee un poder calorífico de 6 400 calorías y contiene 11,5% de materias volátiles. Todo este residuo es destinado a la gasificación completa en generadores, obteniéndose, por kg. 3,81 m³. de gas de bajo poder calorífico. Este gas sale del generador a una temperatura elevada, entrando a la retorta rotatoria a 785°. Tomando en cuenta las pérdidas por radiación y convección, se necesitan 900 m³. de este gas de 7858 para destilar a baja temperatura una tonelada del carbón tipo. Esto requiere la gasificación de 236 kg. de semi-coke; como una tonelada de carbón ha producido

735 kg., queda un importante sobrante de residuo, el que es destinado a alimentar otros generadores. Mediante la mezcla del gas pobre producido por la gasificación de los 735 kg., de residuo y del gas rico originado en la destilación a baja temperatura (140 m³.), se obtienen 2 940 m³., de gas de 1 600 calorías. Luego, el rendimiento térmico total del proceso combinado es:

CALORÍAS GASTADAS.

CALORÍAS OBTENIDAS.

1 ton. de carbón. . .	6 333 000 calorías	2940 m ³ de gases . . .	4 700 000 calorías
		81 kg. de alquit... >	729 000
			<hr/>
			5 429 000 calorías

$$n = \frac{5429\ 000}{6\ 333\ 000} = 85,6\%$$

Otro horno de calentamiento interno, cuyos, planos hemos tenido ocasión de ver, es el de la firma belga *Evence Coppée & Co.* Esta retorta, proyectada principalmente para la destilación de lignitas, se caracteriza por estar dotada de un agitador de paletas transportadoras.

Por último, citaremos el tipo de retorta *Turner*, de fabricación inglesa. Este horno, que ha sido empleado en plantas establecidas en Norfolk y en Bulgaria, consiste en una cámara vertical cilíndrica, provista de mecanismos automáticos de carga y descarga, y calentada por medio de una corriente de vapor recalentado que se hace pasar por su interior.

Fuera de los ya nombrados, existen varios otros sistemas que emplean retortas de calentamiento interior, ya sea en forma parecida a la de los tipos descritos, ya sea combinando este método con un calentamiento externo simultáneo. Creemos que es innecesario describir aquí un mayor número de retortas, puesto que las ya mencionadas bastan para darse cuenta del procedimiento moderno de calentamiento interior y para conocer las principales características que lo diferencian de los sistemas detallados anteriormente.

París, Junio 1924.