

# La producción de petróleo artificial empleando carbones chilenos.

**L**A opinión pública se ha ocupado mucho en los últimos tiempos de la posibilidad de suministrar al país el combustible líquido que tanto necesita. La importancia de la cuestión hace comprensible el interés que despierta. De aquí vienen los esfuerzos por encontrar el petróleo natural y por desarrollar su industria, y de aquí también nace el interés por los procedimientos modernos que permiten la transformación del carbón en combustibles líquidos.

Entre los métodos que tienden a este fin, el que más se ha desarrollado hasta ahora es el del Prof. *Dr. F. Bergius* de Heidelberg y por esto será de interés describir con un poco más de detalles la marcha de este procedimiento y las instalaciones usadas, que he podido estudiar personalmente en la fábrica de Rheinau y dar a conocer los resultados que se han obtenido sometiendo carbones chilenos a este procedimiento.

La base de las ideas del Dr. Bergius está formada por la convicción de que se pueden obtener del carbón productos que se asemejan al petróleo, aumentando el porcentaje de hidrógeno que contiene. Ya desde mucho tiempo se sabe que el carbón no es una mezcla simple del car-

bono elemental con los elementos hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre, sino que se trata de compuestos muy complicados, con moléculas grandes, difícilmente atacables por medio de sustancias reductoras. Pero ya Berthelot ha demostrado en trabajos que datan del año 1869 que se pueden reducir parte de estos compuestos, obteniéndose sustancias líquidas. Este químico usaba el ácido yodhídrico para el fin indicado, método que todavía se emplea en el laboratorio, pero que es imposible aprovechar industrialmente debido al precio elevado de este reactivo. La falta de interés industrial para el problema mencionado ha sido la causa de que estas investigaciones de Berthelot no se siguieran, y por el contrario, casi se olvidaran completamente.

Las investigaciones sobre el origen del carbón condujeron al Dr. Bergius a volver a ocuparse del problema indicado. En estas investigaciones trató de convertir leña y sus compuestos como celulosa y lignita, en carbón, imitando las condiciones que existían en la naturaleza pero aumentando la velocidad de los fenómenos por medio de temperaturas y presiones elevadas. Notó así que la reacción se efectuó en forma

diferente en presencia de hidrógeno y en ausencia de él. Aplicando la misma reacción a aceites pesados y por fin al carbón mismo, vió que en vez de obtener coke por un calentamiento a unos  $450^{\circ}$  se obtuvo, bajo ciertas condiciones, una cantidad grande de substancias líquidas. Es claro que se necesitaban miles de experiencias para determinar las condiciones óptimas para el procedimiento y que éstas varían con la calidad de la materia prima tratada. Pero en términos generales se puede decir que se necesita calentar el material en recipientes cerrados a temperaturas de  $450-470^{\circ}$  por m. o. m. una hora, manteniendo durante esta operación el material en contacto con una atmósfera de hidrógeno cuya presión inicial es de 100 kg. por  $\text{cm}^2$ . Durante la experiencia esta presión sube hasta unas 250 atmósferas para disminuir luego, debido a la misma reacción que absorbe hidrógeno sin formar la cantidad equivalente de materias en estado gaseoso. Para obtener un calentamiento uniforme del carbón es necesario mezclarlo con algo del aceite que se ha obtenido en una operación anterior. Después de enfriar, la presión baja a menos de 100 atmósferas, lo que demuestra plenamente la absorción del hidrógeno. Para estas experiencias se usa un cilindro de acero con paredes muy gruesas de 2 litros de capacidad, en el cual se colocan hasta 400 gramos de carbón, mientras que se llena el espacio restante con hidrógeno bajo presión. El carbón se mezcla, como ya se ha dicho, después de reducir su tamaño a pedazos de 1 mm. m. o. m., con aceite pesado con el cual forma una emulsión. Se emplea como 40% de este aceite, cuya cantidad naturalmente hay que descontar al calcular el rendimiento del tratamiento. Es claro que hay que tomar un aceite proveniente de otro carbón para el primer tratamiento de una muestra nueva. En seguida se aprovecha parte del aceite formado en la

hidrogenización anterior. Se han hecho muchos ensayos para determinar la influencia de tal aceite. Es claro que también puede reaccionar con el hidrógeno. Pero como se aprovecha siempre parte del aceite producido en una operación para la siguiente, se puede decir que después de tres a cuatro tratamientos del mismo carbón, la influencia del aceite original habrá desaparecido. Además, se agrega una pequeña cantidad de óxido de fierro, cuyo efecto consiste en disminuir la cantidad de coke formado, y parece que también sirve para neutralizar compuestos azufrados que contiene el carbón. Desde el punto de vista teórico, la acción del óxido de fierro todavía no se conoce bien. Pero es interesante anotar que en los últimos tiempos la J. G. Farbenindustria, que también está muy interesada en el procedimiento, ha pedido patentes de invención para muchos compuestos metálicos como catalizadores para el procedimiento de hidrogenización. El cilindro descrito gira alrededor de un eje horizontal y está provisto de un manómetro y un termopar que permiten medir la temperatura y la presión durante las experiencias. El calentamiento del cilindro se efectúa exteriormente con gas y en la instalación de ensayo se han tomado todas las precauciones para evitar desgracias que pueden ocurrir en caso de una explosión de un cilindro. Todos los aparatos indicadores están a la vista y comunicados por tubos con el cilindro, el cual se encuentra detrás de una muralla gruesa. Estas precauciones han sido tan eficaces que no ha habido ningún accidente grave durante los 12 años que se están haciendo los estudios.

Los aparatos descritos sirven todavía para los primeros ensayos con nuevos carbones, y así sirvieron para los carbones chilenos últimamente tratados. El producto obtenido tiene el aspecto de un aceite liviano aunque contiene

todavía partes sólidas. Se vierte en un frasco de destilación mientras que el cilindro de acero se lava con benzol, que se trata separadamente. La destilación del aceite obtenido da una primera fracción que destila hasta 140°C. y que se compone de agua y de bencinas. El residuo se mezcla con el benzol del lavado y se filtra. Queda como residuo la ceniza y la parte del carbón que no ha sido transformado. Es un dato especialmente importante porque permite juzgar si el carbón tratado se ataca fácilmente o no. Determinando en este residuo la ceniza se obtiene el tanto por ciento de la materia orgánica no transformada (O. B. U). El filtrado se calienta para eliminar el benzol y en seguida da aceites medios para motores Diesel, aceites pesados y un residuo. Si este se calienta junto con los residuos del carbón que han quedado sin transformar, a temperaturas más altas, se pueden obtener por un procedimiento cracking todavía más bencinas y aceites.

Con un ensayo como el que se ha descrito hasta aquí se obtiene una idea sobre la mayor o menor facilidad con la cual se puede tratar un carbón y sobre el rendimiento de aceite que produce. Pero es claro que este método no puede servir para fines industriales. Para estos hay que idear un procedimiento continuo y de aquí surgen una serie de dificultades muy grandes. Paso a mencionar algunas: hay que introducir fuera del hidrógeno continuamente una mezcla de material sólido y líquido en los cilindros de reacción, y hay que sacar el producto obtenido en la reacción también continuamente; hay que construir aparatos que resistan a 500° a una presión de unas 200 atmósferas y al ataque del hidrógeno; hay que buscar un método de calefacción bien regularizable y uniforme, y, por fin, hay que impedir que el gas formado en el procedimiento se mezcle con el hidrógeno diluyéndolo

y dificultando así la reacción. Todas estas dificultades y otras más se resolvieron construyéndose primero un aparato semi-industrial para trabajo continuo, con un volumen de unos 150 litros, aparato que todavía sigue sirviendo para ensayos nuevos que se hacen en mayor escala. Consta este aparato de tres cilindros largos, horizontales, de acero, de 50 lts. de capacidad cada uno, provistos de un agitador en forma de hélice, que están unidos entre sí por tubos más angostos. Por medio de una prensa especial se introduce la mezcla de carbón y aceite en el primer cilindro y al mismo lado se introduce el hidrógeno con 150 atmósferas de presión. La calefacción se efectúa por medio de una jaqueta en la cual se introduce nitrógeno caliente que se comprime a una presión un poco superior a la del hidrógeno. Hay aparatos automáticos que mantienen constante la diferencia de presión de los dos gases. Este dispositivo tiene el fin de mantener el acero que puede estar atacado por el hidrógeno, a presión casi igual por los dos lados, y de evitar, aún en caso de defectos, que el hidrógeno llegue al cilindro exterior que soporta toda la presión. A estas altas presiones el nitrógeno tiene un calor específico bastante elevado, así que puede servir bien para transmitir el calor necesario. Este calor no es muy grande puesto que la reacción es exotérmica y el calor necesario se transmite al nitrógeno por medio de un baño de plomo fundido. Este nitrógeno hace así un ciclo cerrado entre el aparato de reacción y este baño calentador, sin que se baje su presión.

La mezcla que ha recorrido el primer cilindro pasa al segundo y por fin al tercero y sale de éste por una válvula en la cual se hace bajar su presión. Como los compuestos formados a la alta temperatura que tienen, están al estado gaseoso, se puede obtener por un enfriamiento lento inmediatamente

el primer fraccionamiento de los aceites formados, sin necesitar para esto nuevos aparatos.

Después de condensar todas las partes líquidas, queda una cantidad de gases formados principalmente por metano y sus homólogos. Estos gases pueden servir para la producción del hidrógeno necesario para una nueva operación. Sirve para esto un proceso ya conocido desde hace tiempo que ha sido perfeccionado para el fin indicado. Los gases se mezclan con vapor de agua y se hacen pasar sobre carbón incandescente, formándose hidrógeno y oxígeno, es decir gas de agua. La mezcla caliente, a la cual se agrega más agua, se hace pasar sobre una masa catalizadora de óxido de fierro, formándose ahora gas carbónico y hidrógeno. La separación del gas carbónico se efectúa por absorción en agua bajo presión y el gas que ahora está formado por hidrógeno impuro—es decir con algo de óxido de carbono y gas carbónico—sirve para la reacción principal. Es esta una de las mayores ventajas del sistema, que no necesita hidrógeno puro sino que trabaja con el mismo producto de las operaciones.

El aparato semi-industrial descrito anteriormente permite tratar por hora 30 a 50 kilos de carbón, según la clase de éste. Carbones menos antiguos no sólo dan un rendimiento de aceite superior, sino también se transforman más rápidamente, lo que se traduce en un costo menor debido al menor capital de inversión por unidad tratada. Hay que notar que debido a la mayor velocidad de reacción y a la difusión de los gases en este aparato continuo, la presión no sube a valores superiores a unas 150 atmósferas.

Para el tratamiento en gran escala se proyectan aparatos semejantes, pero con capacidad mucho más grande. La unidad industrial estará formada por 3 cilindros de 4 m<sup>3</sup>. cada uno, con un

diámetro de 80 cm. y un largo de 8 metros, y este aparato permitirá la transformación de 30 a 50 toneladas diariamente. Existe ya un tal cilindro que ha sido construído para la hidrogenización de aceites y que ha trabajado aún con interrupciones, durante m.o.m. un año sin demostrar el menor deterioro. Siendo sólo necesario una presión de 100 atmósferas para la hidrogenización de aceites, este aparato que no resiste presiones más altas, no se presta bien para el tratamiento de carbones. Por esta razón ha sido abandonada la primera idea de completar la instalación descrita en la misma fábrica de Rheinau y se ha elegido un lugar en la región del Ruhr para instalar la primera fábrica en gran escala.

Otra fábrica construída por la I. G. en Leuna prenderá sus fuegos en estos días.

Gracias a la amabilidad del Prof. Bergius he podido someter seis muestras de carbones chilenos a la hidrogenización. Tengo que agradecer también al señor don Carlos Barroilhet, Presidente de la Asociación carbonera de Chile, quien tuvo la amabilidad de suministrar las muestras necesarias. El resultado de los ensayos me ha llegado últimamente.

Se trataron en los cilindros ya mencionados 160 gr. de carbón con 70 gr. de residuo de alquitrán de coquería con un punto de destilación superior a 250° C. Este aceite ha sido elegido por conocer bien la acción del hidrógeno sobre él, y por carecer de aceite producido de los mismos carbones. Además, se agregaron 10 gr. de óxido de fierro y por fin hidrógeno hasta una presión de 100 atmósferas. Se calentó a 470°, manteniéndose esta temperatura durante una hora. Después de enfriar el producto se destiló y se trató de la misma manera descrita más atrás, con la única diferencia de que se sacó sólo una fracción que hirvió hasta 230° y otra que

hirvió entre 230° y 330°, quedando como residuo el aceite más pesado y la pez. En las tablas que se agregan se dan los resultados obtenidos. La primera tabla contiene el resultado de la hidrogenización. Conviene mencionar que las muestras 2,5 y 6 se secaron primero hasta tener 1,3%, 1,4% y 0,6% de agua respectivamente, mientras que las otras se usaban sin secar. Los resultados se refieren a los carbones en el estado empleado. Se ve que todos los carbones con excepción de la muestra N.º 6, suministran entre 59 y 76% de aceite en relación con el carbón puro, siendo el término medio de 68%. Con relación al carbón bruto—es decir con ceniza y agua—el porcentaje es de 60%. Hay que mencionar especialmente que no está incluido en este aceite el que se podrá obtener sometiendo el residuo a una destilación cracking, lo que hará aumentar todavía la cantidad de aceite, aunque este aceite no tiene todas las buenas cualidades del aceite obtenido por hidrogenización. Muy importantes son los datos que se encuentran en la columna designada O. B. U. Se refieren ellos, como ya dije, a las cantidades de materias orgánicas que han quedado insolubles en benzol después de la hidrogenización, es decir partes orgánicas sólidas que no se han transformado. Se ve que este residuo en la muestra 4 baja prácticamente a cero, y que también en las otras muestras—siempre prescindiendo del caso 6—no supera al 11% del carbón tratado. No hay duda que variando un poco las condiciones de trabajo, se podrá también bajar el porcentaje del residuo sólido en estos otros carbones a valores inferiores y semejantes a los obtenidos con la muestra N.º 4. Con ello va a subir, naturalmente, el porcentaje de aceite obtenido. El

resultado puede apreciarse mejor si se toman en cuenta los obtenidos con otros carbones. El término medio de 30 carbones alemanes sólo da apenas el 50% de aceite en relación con carbón puro y un residuo sin transformar de casi 24%.

En cuanto a la composición de los aceites, la tabla 2 da algunos datos aunque bastante incompletos a causa de la pequeña cantidad de productos obtenidos. Especialmente falta todavía el tratamiento de la fracción superior y de la pez por medio de una destilación cracking, con lo cual aumentarán las cantidades de aceites livianos. No obstante, los valores son bastante interesantes y demuestran muy buenos rendimientos en aceites livianos para aumtomóviles y motores Diessel. Especialmente, se nota un porcentaje bajo en fenoles, lo que hará más fácil y menos costosa la elaboración de los aceites purificados.

Para tener una idea completa sobre los carbones, lo que permitirá también calcular exactamente la parte económica del asunto, se necesitarán todavía estudios más detallados en la instalación semi-industrial mas atrás descrita. Si se toma como base el rendimiento de solo un 60% de aceite, se necesitarán 1700 kg. de carbón por tonelada de aceite. Suponiendo que los gastos de la fabricación equivalen por tonelada de aceite a otra tonelada de carbón, se tendrían como gastos 2,7 toneladas de carbón, y suponiendo el uso de carboncillo con un valor de \$ 30 por ton. en la misma mina, se gastarían así \$ 81 para producir 1 ton. de petróleo, y obteniéndose de éste sólo el 10% de bencinas o bien 100 kg., se pagan con creces todos los gastos, dejando una ganancia muy apreciable.

**Tabla I**

N.º del carbón	Aceite total % del		O. B. U. % del		Gas	Consumo de H <sub>2</sub>
	Carbón bruto	Carbón puro	Carbón bruto	Carbón puro		
1	67	71	9,6	10,3	15,2	3,1
1	63	67	8,9	9,5	19,3	3,7
2	53	59	10,7	11,9	15,4	2,9
2	58	63	11,3	12,6	15,3	3,0
3	65	73	6,3	7,0	14,5	3,3
4	49	60	8,4	10,2	19,1	3,4
4	50	61	8,8	10,7	15,8	3,3
5	68	76	1,4	1,8	16,3	3,6
5	65	72	1,7	1,9	14,0	3,8
6	30	37	18,9	23,0	18,3	2,9
6	36	44	18,2	22,1	19,4	2,7

**Tabla II**

N.º del carbón	Fracción hasta 230°		Fracción 230° 330°		Fracción sobre 330° más pez %
	%	Fenoles	%	Fenoles	
1	17	15	23	18	60
2	15	20	25	20	60
3	20	12	25	18	55
4	20	12	30	18	50
5	20	14	30	20	50
6	15	12	25	20	60