

## PETROGRAFIA DEL CARBON

Por E. PEREZ BLANCO\*

### INTRODUCCION

El incremento considerable que ha adquirido la petrografía del carbón en los últimos 25 años, nos ha inducido a redactar el presente trabajo, en el cual, con la bibliografía más moderna accesible para nosotros, intentamos divulgar y dar la importancia que debe atribuirse a esta rama de la ciencia que, aplicada a la técnica, puede prestarle inmejorables servicios. En España son muy escasas las publicaciones sobre este tema, puede casi decirse que solamente el Instituto Nacional del Carbón se ha ocupado de él, dando a la publicidad trabajos muy interesantes. Nuestro deseo sería que tanto las industrias productoras de carbón, como las consumidoras, entre las cuales está, en primer lugar, la industria siderúrgica, concedieran todo el interés que merece a este método de investigación y de ayuda a la técnica.

#### 1.-DESARROLLO DE LOS TRABAJOS SOBRE PETROGRAFIA DEL CARBON

Una extensa exposición de los estudios referentes a petrografía del carbón está recopilada, con gran lujo de detalles, en el

Freund<sup>1</sup>, de cuyo Manual hemos extractado las notas que nos parecen de mayor interés.

Las investigaciones sobre el origen, formación y composición del carbón empezaron a ser sistemáticas hacia la segunda mitad del siglo XIX. Ya en el año 1855 empleó F. Schulze, para el reconocimiento de los restos vegetales en carbones, el mismo procedimiento de maceración, utilizado en botánica. En 1887, Fayol había indicado las buenas cualidades coquizantes del vitreno, y fué el primero que empleó la distinción en los cuatro componentes macroscópicos clásicos (hulla clara, hulla media, hulla mate y fuseno). Posteriormente, R. Thiessen realiza la distinción de la microestructura de las hullas en los componentes fuseno, anthraxylon y attritus. En 1919, M. C. Stopes, a base de sus estudios, estableció la nomenclatura actual de vitreno, clareno, dureno y fuseno, que fué aceptada hasta el momento y coincide con las denominaciones propuestas por Fayol. La relación entre la petrografía y el origen del carbón fué el objeto principal de los estudios de R. Potonié, que realizó también investigaciones petrográficas para aclarar las explosiones del polvillo de carbón, el fenómeno de la inflamación espontánea y la

\* Licenciado en Ciencias Químicas, de la Empresa Nacional Siderúrgica, S. A., Factoría de Avilés.

naturaleza de la atmósfera de las minas. El mismo autor llegó a una conclusión sobre el origen leñoso del fuseno. En 1929, H. Bode indica el valor de la petrografía para la determinación de la edad geológica del carbón. Desde 1926, Th. Lange puso en relación la petrografía del carbón con la práctica de la minería; fué el precursor del reconocimiento de la gran importancia de las esporas para la identificación de las capas de diversas cuencas carboníferas, y, en 1928, se ocupó del origen del fuseno. En 1926, Ch. Iwasaki publicó sus trabajos sobre los carbones japoneses, en los cuales trataba de las relaciones entre la microestructura y las propiedades químicas del carbón. Utilizó el ataque con tetralina de las superficies pulidas, método que fué también recomendado por W. Mantel.

En el año 1929, publica W. P. Evans un trabajo en el que resalta especialmente el valor de la petrografía para la investigación de los carbones. Entre 1930 y 1931, H. Hock y F. L. Kühlwein publicaron la obra «Composición, hullificación y coquizabilidad de las hullas», en la que hacían notar la aplicación de la microscopía del carbón respecto al «ennoblecimiento» del mismo. Los investigadores alemanes E. Hoffmann y A. Jenkner emplearon medidas de reflexión en superficies pulidas y luz polarizada para la determinación del grado de hullificación. La técnica de probetas de superficies pulidas confeccionadas con finos de carbón hace posible la investigación de este clasificado, y permite descubrir mezclas y adulteraciones que no son absolutamente demostrables por el análisis químico; el método fué aplicado por F. Roll y E. Stach en finos de hulla falsificados con pequeños porcentajes de lignito. En el año 1935, R. Thiessen y G. C. Sprunk realizaron un excelente estudio microscópico sobre el calentamiento de carbones. En los años 1934 y 1935 estableció F. L. Kühlwein la relación entre la coquizabilidad a baja temperatura y la microscopía del carbón, y E. Hoffmann descubrió la dependencia de la desgasifi-

cación con la composición estructural y grado de hullificación en los carbones del Ruhr, determinando que el probetón de los carbones mates da especialmente mucho etano, más que el carbón brillante, en la serie de los carbones desde los flambantes de gas hasta los semigrasos, y que a partir de éstos se invierten las cosas, precisamente en la zona que ya se conocía anteriormente como el «salto en la hullificación» (el Inkohlungssprung, de los alemanes).

En 1935, había progresado de tal manera la petrografía que, como un resumen de todos los conocimientos disponibles, publicó E. Stach su libro «Manual de Petrografía del Carbón». En el mismo año tuvo lugar el Congreso internacional de Heerlen, en el que sólo participaron ocho petrógrafos, y donde se tomó la decisión de llamar «macerales» a los componentes que tienen una cierta uniformidad: vitrinita, fusinita, semifusinita, exinita y resinita, reservando los nombres de colinita y telinita para la vitrinita, sin y con estructura celular, respectivamente. En 1936, R. Meldau y E. Stach emplearon el procedimiento de probetas de superficies pulidas de aglomerados de polvos finos para el estudio de otros polvos industriales, tales como polvos y escorias volantes de óxidos y silicatos de hierro.

En un artículo publicado en la revista Glückauf, E. Stach describió ampliamente la importancia de la inmersión en aceite, que no era suficientemente conocida más que en Alemania. Por la misma época, F. L. Kühlwein y C. Abramski se ocuparon de los resultados prácticos de la petrografía del carbón en la selección y preparación del mismo y en la mejora del coque de alta temperatura. En 1940, el Dr. Nötzold estudió la inflamación espontánea del carbón, haciendo micrografías de los llamados «ribetes» de oxidación. Son muy interesantes los trabajos de C. A. Seyler, dados a conocer en 1941. Dicho autor midió las reflexiones con inmersión en aceite, no sólo de la vitrinita o del vitreno, sino también de todos los estados intermedios entre ésta y la fusinita, para los cuales

existía en Alemania la denominación de semifusinita. El descubrimiento decisivo de Seyler consiste en que no encontró ningún aumento continuo de la reflexión de los componentes, sino ocho escalones distintos, de los cuales el fuseno es el último componente, con la reflexión más fuerte. Hay pues, en cada capa carbonífera, solamente un número determinado de «intermedios», que están caracterizados por números de reflexión absolutamente definidos. Cada capa posee así un llamado «espectro petrológico».

En 1943 publicó M. Th. Mackowsky sus trabajos sobre los componentes de los carbones examinados con luz reflejada, en campo oscuro y en campo claro, estudiando detenidamente la pirita, así como el origen de este mineral, de la melnicovita y de la marcasita. Aludió a una petrografía de estériles y a su importancia práctica para la identificación de capas, recuperación de piritas, preparación de carbón purísimo, etc. En 1949 empezó la publicación de una serie de trabajos de investigaciones roentgenográficas sobre los carbones y los procesos de hullificación. En los años siguientes trabajó también sobre la aclaración del proceso de hullificación, e indicó la posibilidad de que los indicios de elementos pesados colaboren como catalizadores en la formación o descomposición de hidrocarburos. En 1950, en colaboración con A. Dahme, informó sobre un nuevo procedimiento de medida para la determinación del poder de reflexión de los carbones.

R. Meldau, en 1950, se ocupó especialmente del análisis de minerales y cenizas del carbón utilizando el microscopio electrónico. P. A. Hacquébard propuso distinguir con el nombre de «clarodureno» al estado intermedio entre el clareno y el dureno con menos del 50 % de vitrinita y menos de 30 % de micrinita, mientras se designa con el nombre de clareno, simplemente, si el contenido de vitrinita es superior a dicho 50 por ciento.

U. Horst, en 1951, ha informado sobre el procedimiento de contraste de fases, según

Zernicke, con luz reflejada. Es posible que este método microscópico haga posteriores progresos en el campo de la microscopía de superficies pulidas de carbón.

Por último, debemos citar el «Atlas para petrografía aplicada a la hulla», realizado en colaboración entre C. Abramski, M. Th. Mackowsky, W. Mantel y E. Stach. Sus microfotografías proceden de superficies pulidas y aglomerados de finos, y fueron tomadas con inmersión en aceite. La microscopía de superficies pulidas ofreció la posibilidad de microfotografiar asimismo carbones grasos, carbones magros y antracitas, pudiéndose también preparar secciones delgadas con los carbones de mayor contenido en volátiles. En el Atlas se ve la transición gradual desde los carbones flambantes a la antracita. Las fotografías muestran un empaldecimiento de los cuerpos bituminosos al aumentar el grado de hullificación, hasta que, finalmente, en la antracita, no se pueden distinguir y sólo se pueden hacer visibles con luz polarizada.

En el tercer Congreso internacional para la estratigrafía del carbón, que tuvo lugar en Heerlen, en 1951, se aceptaron los términos propuestos en el Atlas, de micrinita «masiva» y «granular», y la introducción del componente esclerotinita, semejante a la semifusinita. También se recomendó que se reúna una Comisión de Petrografía del carbón cada dos años.

A fines de junio y primeros de julio del año 1954 se reunió por segunda vez la Comisión internacional para la Petrología del carbón, en París y Verneuil<sup>2</sup>, y en la que estuvo España representada por el Sr. Hevia, del Instituto Nacional del Carbón. El objeto de la reunión era el establecimiento de un léxico petrográfico, y en ella no pudo llegarse a un acuerdo completo, ya que hubo disparidad de opiniones respecto a clasificar como entidades microscópicas al vitreno, clareno, dureno y fuseno, que, a veces, aparecen en capas o bandas de un espesor bastante considerable. La unanimidad actual es considerar los constituyentes estructurales,

o macerales, vitrinita, resinita, exinita, semifusinita, fusinita, micrinita y esclerotinita, como elementos microscópicos básicos.

## 2.-CARACTERISTICAS DE LOS MACERALES

Una breve descripción de los constituyentes básicos del carbón, y de la forma como se presentan al examinarlos por reflexión, puede hacerse como sigue:

**Vitrinita.**—Aparece con color gris y se hace cada vez más clara al aumentar el grado de hullificación\*\*. Es el menos duro de los componentes del carbón.

**Exinita.**—Está formada por las esporas (micro- y macrosporas) y las cutículas. En los carbones jóvenes tiene color pardo oscuro hasta gris oscuro, pero se hace cada vez más clara al aumentar el grado de hullificación y se va acercando, paulatinamente, en color y poder de reflexión, a la vitrinita.

**Resinita.**—Son las ceras y resinas vegetales. Sus modificaciones ópticas en el transcurso de la hullificación son semejantes a las de la exinita. Pero, aún en los carbones magros, se puede observar mejor que ésta, ya que todavía conserva un color más oscuro.

**Micrinita.**—Este constituyente suele aparecer en la vitrinita en forma de pequeños granos. En el durenó, en cambio, se presenta generalmente en forma masiva. Su color es blanco o blanco amarillento, y tiene un poder de reflexión elevado. No muestra estructura celular, y su dureza es mayor que la de la vitrinita.

**Fusinita.**—Es fácil de distinguir por su gran poder de reflexión, su color blanco o blanco amarillento, su gran dureza (a la que sólo aventaja la de la esclerotinita) y su estructura celular típica.

**Semifusinita.**—Es un estado intermedio entre fusinita y vitrinita. Por lo tanto, su dureza, color y poder de reflexión, también son intermedios entre los valores correspondientes a dichos dos componentes. Sin embargo, son mucho más frecuentes las formas en que la semifusinita se asemeja al primero de ellos, que al segundo.

**Esclerotinita.**—Está formada por esclerocios y tejidos de hongos que se distinguen por su dureza y poder de reflexión, mayores aún que los de la fusinita. Su color es blanco o blanco amarillento, y tiene una configuración característica, en forma esférica o elipsoidal, con estructura celular irregular.

## 3.-PREPARACION DE MUESTRAS DE CARBON PARA SU ESTUDIO MICROSCOPICO

Para realizar investigaciones microscópicas en el carbón, se pueden seguir dos métodos<sup>3</sup>:

- a.—Investigación en «sección delgada».
- b.—Examen sobre superficie pulida.

Hoy día, el examen sobre superficies cubre todos los fines de la investigación. Esto ha sido posible por el perfeccionamiento de los equipos microscópicos y, también, por el empleo de objetivos de inmersión, así como de la luz polarizada. Además, existe el inconveniente de que es difícil el examen en sección delgada de los carbones que tienen menos del 30 % de materias volátiles.

En todo lo que sigue nos referimos siempre a estudios sobre superficies pulidas, bien de trozos de carbón, bien de aglomerados de finos.

### 3. 1.—Técnica de la preparación de secciones delgadas.

Los distintos métodos de preparar las lá-

\*\* Por grado de hullificación se entiende la mayor o menor antigüedad del carbón, determinado por los componentes volátiles. Naturalmente, las antracitas son los carbones más hullificados o de mayor grado de hullificación.

minas de carbón para su estudio por transparencia están muy bien descritos en una publicación de V. Hevia Rodríguez<sup>4</sup>.

El Dr. Stach trata en su libro<sup>5</sup>, con bastante extensión, de la manera de preparar las secciones delgadas.

### 3. 2.—Preparación de superficies pulidas.

El método utilizado en el laboratorio de la Steinkohlenbergbauverein, de Essen, es el siguiente, refiriéndonos a la preparación de probetas de aglomerados de polvos finos, ya que, en realidad, se emplea la misma técnica cuando se trata de pulir superficies de trozos de carbón:

Sobre un papel blanco se disponen unas barras de hierro engrasadas, cerrando un espacio de algo más de 20 x 20 mm, que son las dimensiones útiles que tendrá la probeta ya terminada. En una gran cuchara de cobre se pone el material aglomerante, o sea, la mezcla de Schneiderhöhn (compuesta de tres partes de resina de Dammar, dos de goma laca y una de trementina de Venecia) y se calienta hasta fusión completa sobre la llama de un mechero Bunsen, revolviendo la masa con una barrita de hierro, para que no se apeltone el «caramelo» fundido. Se cuece poco a poco, para que expulse la humedad, introduciendo luego en la masa fundida el carbón triturado, en la proporción de tres partes por cinco de la mezcla. Se agita bien, para uniformar la masa, y se vierte, no demasiado caliente, sobre los moldes formados por las barritas de hierro. Las probetas obtenidas se dejan endurecer y enfriar en los moldes, despegándose luego con facilidad del papel y de las piezas de hierro.

El amolado se realiza a mano, sobre placas de vidrio, de 30 x 30 cm, colocadas en unas bandejas de acero inoxidable V 2 A. La operación se realiza en etapas, empleando, sucesivamente: 1º, carborundo núm. 80; 2º, carborundo núm. 220; 3º, carbo-

rundo F F (esmeril), y 4º, carborundo núm. 500. Se efectúa siempre en húmedo y lavando cuidadosamente la probeta con agua entre dos fases consecutivas, para no arrastrar ningún abrasivo distinto a otra placa. Una vez terminadas estas operaciones, que duran unos cinco minutos cada una, se biselan, a máquina, las aristas con el disco de esmeril.

El pulido se realiza en una máquina provista de platillos recubiertos de paño de billar. En un primer platillo se efectúa el pulido previo, empleando polvo fino de óxido de cromo (< 0,06 mm) disperso en agua, durante unos 5 ó 10 minutos. Se pasa después a un pulido con alúmina núm. 1, y, finalmente, se hace otro pulido a mano sobre placa de vidrio recubierta de paño de billar, con alúmina núm. 2, durante un minuto. Se lavan cuidadosamente con agua las probetas y se secan, sin restregar, sobre papel de filtro<sup>\*\*\*</sup>. En el citado libro de Stach<sup>6</sup> se describen detalladamente los métodos de preparación de superficies pulidas.

### 4.—DETERMINACION DE LOS COMPONENTES MICROSCOPICOS DEL CARBON :: :: ::

La sustancia carbonosa de las hullas se compone de las siguientes entidades microscópicas (a veces macroscópicas):

Vitreno (vitrita), cuya masa fundamental es la vitrinita y sus elementos microscópicos, en este caso inclusiones y accesorios, pueden ser resinita, semifusinita, micrinita y esclerotinita, en pequeñas proporciones.

Clareno (clarita), que tiene como masa fundamental la vitrinita, como inclusiones la exinita y, a veces, la resinita, y como accesorios micrinita, fusinita, semifusinita y esclerotinita.

Dureno (durita), cuya sustancia funda-

\*\*\* Nos complacemos en dar las gracias a los Sres. Echterhof y Müller, del laboratorio de la Steinkohlenbergbauverein, por sus observaciones a propósito de la preparación de las probetas.

mental es la micrinita, granular y generalmente masiva, la semifusinita y la esclerotinita. Como inclusiones se presentan la exinita y la resinita, y como elemento accesorio la vitrinita.

Fuseno (fusinita), con masa fundamental exclusivamente de fusinita o semifusinita.

La caracterización de estos diversos componentes es fundamentalmente visual, dadas sus diferencias de color, poder de reflexión y dureza, que se traducen en un mayor o menor relieve en la superficie pulida de la preparación. Están descritos, con todo lujo de detalles, en el Atlas de Abramski, Mackowsky, Mantel y Stach<sup>3</sup> y en el Boletín Informativo del Instituto Nacional del Carbón<sup>4</sup>. Además, en el curso de este trabajo tendremos ocasión de mencionar algunas propiedades físicas y químicas de los constituyentes macro- y microscópicos.

Independientemente de estos compuestos estructurales que constituyen la masa propiamente carbonosa, se pueden reconocer también la cantidad de mixtos constitutivos y de estériles, y la cantidad y calidad de las inclusiones minerales presentes (pirita de hierro, siderosa, cuarzo, caolín, etc.).

4. 1.—Realización de análisis cuantitativos con el microscopio petrográfico.

Según las técnicas actualmente en vigor, los análisis petrográficos cuantitativos del carbón cumplen dos objetivos fundamentales:

—determinación de la composición petrográfica de un carbón o mezcla, y

—determinación del «perfil» de una capa de carbón.

Ya ha sido descrita la técnica de la preparación de probetas para la primera de estas determinaciones. En cuanto a la segunda, nos limitaremos a indicar que se toma una columna entera de carbón, en sentido perpendicular a la estratificación de la capa, y se van estudiando separadamente los trozos en superficie pulida, anotando con la platina integradora los componentes existentes, centímetro a centímetro, a lo largo de una línea recta marcada en el carbón con

una aguja de acero, perpendicularmente a la estratificación. Para consignar los resultados obtenidos, existe una forma de representación gráfica que caracteriza cada capa carbonífera. Los trozos de carbón serán de un tamaño no inferior a 30 centímetros. Los elementos microscópicos a medir son: vitreno, clareno, durenno, semifusinita y fusinita, mixtos constitutivos y estériles. A un lado del campo visual se deja la raya marcada con la aguja, para seguir siempre la misma dirección mientras se hace el análisis.

Todos los análisis mencionados hasta aquí, así como los que se realizan sobre probetas de aglomerados de polvo fino, se efectúan con microscopio petrográfico, provisto de platina integradora, a unos 200 aumentos y con objetivo de inmersión. No nos detendremos en exponer el manejo de este tipo de microscopio, que puede verse en las obras especializadas o en los catálogos de las firmas fabricantes (Leitz, Zeiss, etc.). Respecto a la platina integradora, indicaremos que dispone de un tornillo micrométrico para desplazar transversalmente la probeta, que en el caso de aglomerados de polvo de carbón suele ser, como ya hemos dicho, de 20 x 20 mm. De esta manera, la probeta se puede mover diez veces 2 mm, y cada 2 mm se hace el recuento a lo largo de una línea vertical a aquel desplazamiento, que mide también, naturalmente, otros 20 milímetros.

El desplazamiento vertical se consigue con un tornillo, cuando el campo visual a medir cae sobre la masa de aglomerante, y por medio de seis husillos, que hacen el recuento de los constituyentes, cuando aquél cae sobre un grano de carbón.

Estos husillos sirven para anotar la cantidad de los seis componentes vitreno, clareno, durenno, semifusinita, fusinita y mixtos constitutivos. Los estériles propiamente dichos no se recuentan, ya que el análisis se hace sobre muestra flotada a la densidad de 1,9. Las muestras se preparan con un tamaño de grano inferior a 0,75 mm. Se emplea ocular micrométrico, con retículo y uno de los diámetros graduado en cien divisiones.

#### 4. 2.—Manera de hacer el recuento de los constituyentes compuestos.

Las normas directrices desarrolladas por el laboratorio de la Steinkohlenbergbauverein son las siguientes<sup>7</sup>:

1. Para el vitreno, tanto el que presenta estructura celular (telinita) cuyos espacios vacíos estén llenos de resinita, como el que no tiene estructura (colinita) siempre que esté fuertemente impregnado con resinita, hay que considerarlo como clareno, ya que sus propiedades tecnológicas son similares. Si el vitreno contiene mucha micrinita, debe, por análogas razones, ser considerado como durenno.

2. Cuando en el clareno aparecen bandas largas de fusinita o de semifusinita, hay que contar éstas como tales cuando tengan de ancho más de 10 rayas del micrómetro ocular, o sea, 50 micras. No se consideran así cuando se presentan en forma de lentes más pequeñas o esquirlas, aunque midan las citadas 50 micras. Las zonas vitrificadas que no tengan esporas se consideran como vitreno cuando el ancho de esas bandas sea superior a 20 rayas del micrómetro ocular (100 micras).

3. Las mismas 20 divisiones sirven para considerar como clareno, vitreno, semifusinita o fusinita las correspondientes inclusiones en el durenno.

4. En cuanto a los estados intermedios entre clareno y durenno, se pueden repartir según la proporción de la masa fundamental vitrinita por un lado, y micrinita, esclerotinita, fusinita y semifusinita por otro, en cinco fracciones:

- a: 3/4 de clareno y 1/4 de durenno
- b: 2/3 » » » 1/3 » »
- c: 1/2 » » » 1/2 » »
- d: 1/3 » » » 2/3 » »
- e: 1/4 » » » 3/4 » »

Para el reparto de los estados intermedios entre clareno y durenno, es decisiva solamente la proporción de masa fundamental, puesto que se distinguen precisamente por ésta, ya que la presencia de exinita es común a ambas formas.

5. Respecto a los mixtos constitutivos y los estériles propiamente dichos, se considera como límite inferior entre mixtos y carbón la densidad de 1,5, con un contenido en arcilla (pizarra) de un 20 % en volumen. Como límite superior se acepta una densidad de 1,8 a 2,0, que corresponde a un 50-60 por ciento de cenizas y un contenido en pizarra de 50 a 60 % en volumen. Por lo tanto, los depósitos carbonosos impurificados con pizarra y que tienen menos del 20 % de ésta, se consideran como carbón, mientras que las capas con más del 60 % en volumen de pizarra se adscriben a los estériles. Con esta limitación queda caracterizado el verdadero mixto constitutivo, frente a las capas alternadas de carbón puro y estéril genuino. Como densidad media para los mixtos, se ha establecido la de 1,7\*\*\*\*.

#### 4. 3.—Composición petrográfica de los estériles

En el análisis de una probeta aglomerada preparada con los estériles, puesto que la platina integradora del microscopio no tiene más que seis husillos, no pueden determinarse más que este número de minerales, si bien, en caso necesario, pueden reunirse los más afines. Los minerales más importantes de los estériles son: caolín, arcilla, pirita, siderosa, hematites, ankerita, caliza, dolomita y cuarzo, descritos con todo detalle en el Atlas für angewandte Steinkohlenpetrographie<sup>8</sup>.

Un mineral muy frecuente, que a veces aparece conjuntamente con pirita, es la siderosa; se presenta a menudo en concreciones radiales que muestran formas muy ca-

\*\*\*\* Hacemos constar aquí nuestro agradecimiento a la Srta. Mackowsky, Directora del laboratorio físico de la Steinkohlenbergbauverein, y a sus colaboradoras, Srtas. Otte y Winkhaus, por sus múltiples observaciones y aclaraciones respecto a los análisis petrográficos del carbón.

racterísticas con luz polarizada en campo oscuro. Con nícoles cruzados se aprecia la cruz esferolítica oscura. Es de resaltar lo adecuado, para el examen de estériles, del empleo de la luz polarizada bajo nicoles cruzados.

En el caso de que el análisis petrográfico del carbón no se haga sobre muestra flotada a 1,9, sino sobre el bruto, los estéri-

les. Por esto, cuando se trata de análisis de gran precisión, es conveniente realizar la llamada «medida de la estructura fina», que tiene por objeto resolver dichos constituyentes compuestos en sus entidades microscópicas últimas. Para efectuar esta operación, en las probetas de aglomerados de finos, se miden 10 líneas (separadas entre sí 2 mm) o 20 líneas (separadas 1 mm), según la pro-

### CUADRO I

Modelo de cálculo de un análisis cuantitativo, de probeta formada con aglomerado de polvo de carbón

Denominación de la probeta C 1	Lecturas en los husillos a	Peso específico b	Productos a x b	Resultado del análisis %
Vitreno	25,45 + 12,03 = 37,48	1,30	48,7	44,0
Clareno	21,95 + 11,37 = 33,32	1,30	43,3	39,1
Dureno	9,72	1,35	13,1	11,8
Semifusinita	2,80	1,35	3,8	3,4
Fusinita	1,24	1,50	1,9	1,7
Mixtos	0,00	1,70	0,0	0,0
Total			110,8	100,0

les se recontarán con el sexto husillo, reservando el quinto para los mixtos y el cuarto para el conjunto de fusinita y semifusinita.

Como densidades de los minerales más frecuentes en el carbón, se admiten las siguientes:

Arcilla y pizarra . . . . .	2,5
Pirita de hierro. . . . .	5,0
Cuarzo . . . . .	2,65
Calcita . . . . .	2,7
Siderosa . . . . .	3,8

#### 4. 4.—Medida de la estructura fina.

Se deduce de lo expuesto en el párrafo 4. 2 que resulta de alguna dificultad el recuento de los constituyentes compuestos, especialmente en los estados intermedios entre clareno-dureno y entre mixtos-estéri-

porción de granos compuestos, de forma que se midan en total unos 100 granos. Se emplea el mismo microscopio, con el ocular micrométrico x8 y un objetivo de inmersión fuerte, para obtener unos 500 aumentos. En este caso sólo se recuentan tres componentes: vitrinita, exinita (resinita, macro y microsporas, cutículas) e inertinita (micrinita, esclerotinita, fusinita, semifusinita, mixtos y estériles).

#### 4. 5.—Empleo de la glicerina como líquido de inmersión.

Como líquido para el examen con objetivos de inmersión se empleó siempre el aceite de cedro. En una reciente publicación de M. Th. Mackowsky<sup>9</sup> se hacen notar las ventajas que reporta la glicerina como líquido de inmersión. El aceite de cedro tiene que quitarse de la preparación con alcohol, xilol o tetracloruro de carbono y, a causa de

este lavado, se ataca ligeramente la superficie de la probeta, siendo necesario un nuevo pulido. Para evitar esto, se puede dejar sobre la probeta una delgada película del aceite, teniendo la precaución de que no reciba polvo; sin embargo, el nuevo pulido es siempre necesario si se quiere pasar al examen con objetivos secos. En cambio, con el empleo de un líquido soluble en agua, como la glicerina, se evitan estas dificultades. Otra ventaja es que el aceite de cedro tiene un índice de refracción (1,515) muy próximo a los del cuarzo (1,543 para el rayo ordinario, y 1,554 para el extraordinario); el índice de la glicerina es de 1,45, con lo que el cuarzo se hace bien visible también con objetivos de inmersión. La glicerina se lava fácilmente con agua, sin apreciarse ningún rayado, permitiendo pasar de objetivos de inmersión a objetivos en seco. Sin embargo, para el trabajo con fuertes objetivos de inmersión, y también para la microfotografía, es preferible el aceite de cedro, a causa de la higroscopicidad de la glicerina.

4. 6.—Modelo de cálculo de un análisis cuantitativo, de probeta formada con aglomerado de polvo de carbón.

El cuadro I reproduce una hoja de análisis. Los valores a de la segunda columna son las lecturas del nonius de los husillos. En el caso a que se refiere la hoja, los valores correspondientes al vitreno y al clareno se componen de dos sumandos, porque, como existen en gran cantidad, es necesario llevar el nonius a cero antes de que se termine su campo de lectura, y empezar otra vez a recontar, al mismo tiempo que se empieza una nueva línea de lectura. Los valores b de la columna siguiente son los pesos específicos atribuidos a cada uno de los componentes. Los estériles no se calculan, ya que el análisis se hace sobre muestra flotada a 1,90. El producto a x b, indicado en la cuarta columna, se efectúa para obtener cantidades en peso, ya que las lecturas a son lecturas en volumen. En la hoja del resultado del análisis pueden hacerse también anotaciones cualitativas respecto a la forma en

que se presenta el vitreno (colinita o telinita), la clase y estado de conservación de la exinita en el clareno y en el durenno, la clase de inclusiones minerales presentes, etc.

En el cuadro II se contienen los resultados de varios análisis cuantitativos efectuados por nosotros en el laboratorio de Essen sobre varios carbones alemanes y algunos españoles.

#### 5.—RELACION ENTRE LA PETROGRAFIA DEL CARBON Y LA AP- TITUD A LA COQUIZACION ::

La clasificación internacional, propuesta en diciembre de 1953 por la «Comisión de trabajo para la clasificación del carbón», y pendiente de estudio y aprobación por todos los países interesados<sup>10</sup>, se basa en caracterizar cada tipo por un conjunto de tres cifras. La primera de ellas representa la clase, determinada por el contenido en materias volátiles (sobre muestra sin humedad ni cenizas) hasta el 30 % de ellas y por la potencia calorífica superior por encima de este tope. La segunda cifra indica el grupo del carbón, caracterizado por sus propiedades aglomerantes, determinadas por el índice de hinchamiento al crisol o por el índice de aglutinación Roga. La tercera cifra, que señala el subgrupo, depende de las propiedades coquizantes del carbón, indicadas por el dilatómetro Arnú o por el ensayo Gray-King de destilación a baja temperatura.

Esta clasificación puede utilizarse, y tal es uno de sus principales objetos, para la selección de los carbones destinados a las distintas aplicaciones industriales. Pero desde el punto de vista de la carbonización, para la producción de gas o de coque, la petrografía puede prestar una ayuda muy estimable, con arreglo a las ideas que vamos a exponer a continuación.

##### 5. 1.—Industria del gas.

En la destilación de la hulla para la obtención del gas, y de coque como subproducto, es conveniente el conocimiento del carbón, no sólo por su grado de hullifica-

ción (expresado por su contenido en materias volátiles), sino también por su composición petrográfica. Puesto que el fuseno puede aparecer hasta con el 15 % de volátiles, el dureno con el 27-45 %, el vitreno con el 30-34 % y el clareno con 38 a 40 %, según sea el predominio de unos u otros

constituyentes se obtiene una mayor o menor cantidad de gas, variando también la composición y poder calorífico del mismo. Los componentes clareno y dureno, ricos en cuerpos bituminosos vegetales, dan unos valores especialmente altos.

Por otra parte, tiene también gran valor

### CUADRO II

Análisis petrográficos cuantitativos de carbones †

Componentes estructurales, %	Vitreno	Clareno	Dureno	Semifusinita	Fusinita	Mixtos
Flambante de gas	44,0	39,1	11,8	3,4	1,7	0,0
Flambante de gas	31,0	43,5	19,3	3,7	2,5	0,0
Graso con pocos mixtos	49,1	27,4	19,5	3,1	0,0	0,9
Graso con muchos mixtos	12,2	10,7	18,9	17,6	0,0	40,6
Mezcla de flambante de gas, graso y de vapor	34,0	36,1	15,2	13,8	0,7	0,2
Flambante de gas	33,4	52,9	5,5	7,5	0,7	0,0
Carbón de coque (Bismarck)	48,8	27,0	10,2	6,2	2,6	5,1
El mismo anterior, tamaño + 6 mm	36,7	36,1	16,8	5,2	2,5	2,7
Idem, 6 - 5 mm	38,7	27,5	22,0	6,0	3,6	2,2
Idem, 5 - 4 mm	36,8	34,7	19,1	5,9	1,1	2,4
Idem, 4 - 3 mm	36,6	31,6	21,2	6,7	1,1	2,8
Idem, 3 - 2 mm	43,8	23,6	18,4	5,5	3,5	5,2
Idem, 2 - 1 mm	43,5	35,4	8,8	3,9	2,9	5,5
Idem, 1 - 0,5 mm	45,9	30,7	11,0	3,8	2,3	6,3
Idem, - 0,5 mm	48,6	23,2	6,4	7,4	2,3	12,1
Riosa 1,3 (densidad)	59,4	34,3	5,1	0,8	0,0	0,4
Idem, 1,3 - 1,55 (densidad)	51,8	22,5	7,0	3,6	0,1	15,0
Idem, 1,55 - 1,80 (densidad)	19,0	4,2	2,8	4,9	3,3	65,8

† Todos los carbones, menos los de Riosa, flotados a 1,9.

en la industria del gas la obtención de un buen coque, y en cuanto a esto se distinguen también no sólo los diversos grados de hullificación sino también los distintos componentes petrográficos. Así, se sabe que en el campo de los carbones coquizables el vitreno y el clareno muestran un buen poder aglomerante, mientras que el dureno muestra una aglomeración muy mala y el fuseno es completamente inerte<sup>11</sup>.

### 5. 2.—Importancia de la Petrografía para la obtención del coque.

Con arreglo a la clasificación internacional a que nos hemos referido, solamente son aptos para la coquización, empleados unitariamente, los carbones grasos con un contenido en volátiles (sobre carbón puro) desde 18 hasta 28 por ciento.

Es sabido que la propiedad más importante exigida al coque para su empleo en el horno alto es un valor Micum elevado con un mínimo índice de abrasividad. Esta buena resistencia mecánica del coque depende de la plasticidad adquirida por el carbón en una zona de temperatura de alrededor de los 400 grados, y del transcurso de la desgasificación durante este momentáneo estado plástico. La desgasificación debe ser simultánea a dicho estado, pues si se anticipa no se desarrolla una aglomeración suficiente, y si la desgasificación se retarda respecto a la zona de plasticidad origina una fisuración que conduce a un mayor índice de abrasividad en el coque. Es también importante que el carbón experimente al coquizar un cierto hinchamiento, compensado por la contracción que tiene lugar en el período final de la pérdida de gas.

Para el buen funcionamiento de la coquería es necesario, ciertamente, el conocimiento de las propiedades de los carbones en cuanto a su contenido en volátiles, poder aglomerante y estado plástico, tal como prevé la proyectada clasificación internacional, pero es también muy útil el examen petrográfico del producto a carbonizar, sobre todo para la explicación de las diferencias que se obtienen entre la aptitud a la

coquización de los carbones unitarios y de sus mezclas.

Es sabido desde antiguo que los componentes petrográficos del carbón presentan grandes diferencias en su poder coquizante. El cuadro III expresa esta característica en relación con el grado de hullificación y las propiedades fisicoquímicas de los diversos constituyentes petrográficos<sup>12</sup>.

En relación con este diferente poder coquizante de los componentes microscópicos del carbón, B. Alpern<sup>13</sup> propuso una modificación al método de análisis que hemos descrito, que consideraba insuficiente. No basta, razona Alpern en su trabajo, saber que un carbón tiene un porcentaje determinado de clareno, ya que este componente es un complejo de vitrinita y las correspondientes inclusiones de macrosporas, microsporas, cutículas y resinita (englobadas bajo la denominación general de exinita) de las que dependen los rendimientos en alquitrán y gas. Por ello, propuso resolver en los análisis los granos compuestos de clarodureno, expresando el resultado final por los tres porcentajes siguientes:

- *de constituyentes fusibles*, formados por el vitreno + vitrinita + telinita +  $\frac{1}{2}$  de la semifusinita del análisis global;
- *de constituyentes fusibles e binchantes*, integrados por las esporas (micro y macro), las cutículas y la resinita, y
- *de constituyentes inertes*, o sea, micrinita, semifusinita del clarodureno,  $\frac{1}{2}$  de la semifusinita del análisis global, fusinita, mixtos y estériles.

Es también muy interesante el trabajo publicado por M. Th. Mackowsky<sup>14</sup> sobre la caracterización de la composición petrográfica de los carbones para coque. Para ensayar la forma propuesta por Alpern, la señorita Mackowsky realizó tres series de análisis. La primera fué sobre diversas grancillas empleadas en una determinada coquería, solas y en mezclas, y en dos granulometrías distintas. Estas grancillas se distinguían por una proporción de dureno especialmente alta. La segunda serie de aná-

## CUADRO III

Relación entre el grado de hullificación, las propiedades físico-químicas y la aptitud a la coquización de los componentes petrográficos  
(Tomado del «Atlas für angewandte Steinkohlenpetrographie»)

Grado de hullificación Volátiles (sobre puro)	Vitreno	Clareno	Dureno	Fu- seno
Carbones flambantes + 40 %	Coque desde pulverulento a sinterizado. No hincha o lo hace débilmente	Como el vitreno, no coquiza solo. El rendimiento en subproductos es mayor.	Como el vitreno. El rendimiento en subproductos es mayor o menor, según sea la estructura fina.	Se comporta siempre como inerte en la coquización. El rendimiento en subproductos es muy pequeño.
Carbón flambante de gas 40 á 35 %	No coquiza solo. El botón es desde sinterizado a aglomerado. Hincha poco o nada. Contrae bien	Como el vitreno, pero con mayor rendimiento en subproductos.	No coquiza solo. El botón desde pulverulento hasta poco aglomerado. No empuja y contrae bien. El rendimiento en subproductos, mayor o menor que en el vitreno.	
Carbón de gas 35 á 28 %	Solo, relativamente coquizable. Botón bien aglomerado y fundido. No empuja o lo hace débilmente. Contrae bien.	Como el vitreno, pero con mayor rendimiento en subproductos.	Solo, apenas coquiza. El botón de coque desde sinterizado hasta aglomerado, según la estructura fina. Empuja poco o nada. Contrae bien o regular. El rendimiento en subproductos mayor o menor que en el vitreno.	
Carbones grasos 28 á 22 %	Solo, siempre coquizable. El botón es bien aglomerado y fundido. En general, empuja poco o regularmente. Contrae bien.	Semejante al vitreno, pero con mayor rendimiento en subproductos.	Solo es relativamente coquizable. El botón de coque está, en general, bien aglomerado, con flujo de fusión variable, según la estructura fina. Empuja poco. Contrae bien o regular.	
Carbones grasos 22 á 19 %	Coquizable solo. Generalmente, la estructura del coque es muy porosa. Botón bien aglomerado y fundido. En ocasiones, empuja mucho. Contrae bien o moderadamente.	Semejante al vitreno. Muy frecuentemente, el empuje es algo fuerte, pero, muchas veces, la contracción es mejor. El rendimiento en subproductos, prácticamente igual.	Solo, es relativamente coquizable. El botón de coque, en general, es, todavía, bien aglomerado, con flujo de fusión variable según la estructura fina. Generalmente poco hinchado. Empuje débil o mediano. Contrae moderadamente.	
Carbones de vapor 19 á 16 %	Solo, relativamente coquizable. Botón de coque bien aglomerado y fundido hasta sinterizado. Muchas veces con fuerte empuje. Contrae regularmente o mal.	Como el vitreno.	Semejante al vitreno. Menor rendimiento en subproductos y peor contracción.	
Carbón de vapor 16 á 12 %	Solo, no coquizable. El botón de coque desde débilmente aglomerado a pulverulento. Empuje pequeño o nulo. No contrae.	Como el vitreno.	Semejante al vitreno. El botón de coque desde poco sinterizado hasta pulverulento.	
Carbón magro 12 á 10 %	Solo, no coquizable. El botón de coque poco sinterizado o pulverulento.	Como el vitreno.	Como el vitreno.	
Antracitas con menos del 10 %	Solo, no coquizable. El botón de coque siempre pulverulento.	Como el vitreno.	Como el vitreno.	

lisis se efectuó con un carbón de otra coquería en diversas granulaciones, en las que se había observado que la proporción de durenos disminuía relativamente poco al rebajar el tamaño del grano. La tercera serie fué sobre el carbón de cierta coquería, en el que disminuía fuertemente el durenos al hacer menor el tamaño de grano. Los análisis se efectuaron según el procedimiento habitual y con arreglo al propuesto por Alpern, surgiendo entonces, desde el punto de vista práctico, la cuestión de si un carbón, investigado según tamaño de grano, debe ser, o no, molido selectivamente y cribado a una granulometría determinada. Esto tampoco parece que puede ser decidido con ayuda de la nueva forma de análisis propuesta por Alpern. El objeto de una pulverización selectiva tendría que ser mejorar el íntimo contacto entre los componentes vitríticos y

dias, ni cómo se encuentran unidos los elementos dentro de un grano de carbón. Las formas intermedias representan, generalmente, un buen contacto natural entre los componentes buenos y malos coquizantes, de tal forma que no puede ser mejorado por ninguna pulverización tan intensiva.

Por esto, M. Th. Mackowsky propone una modificación de los análisis petrográficos cuantitativos de aglomerados de polvo fino, que tiene por objeto que el técnico de la coquería pueda sacar valiosas conclusiones, directamente a partir de los análisis. Un ejemplo de esta manera modificada de análisis se ve en el cuadro IV, relativo a los resultados que hemos obtenido con algunas muestras de carbones españoles. (Los datos de análisis químico de cinco de ellos están en el cuadro V).

Esta modificación del método de análi-

#### CUADRO IV

Análisis petrográficos cuantitativos de carbones, según el nuevo método propuesto por Mackowsky

Componentes estructurales %	Vitreno	Clareno	Duroclareno — Clarodurenos	Durenos	Fuseno	Mixtos
Riosa: —1,3 (densidad)	60,0	28,8	10,0	0,0	0,5	0,7
Riosa: 1,3 —1,55 (densidad)	21,4	22,5	30,8	2,8	2,8	19,3
Camocha — Muestra general*	44,4	35,9	13,5	0,5	1,0	4,7
Hullera Española — M. general*	49,6	14,0	28,0	1,2	0,7	6,5
Mieres — Muestra general*	40,7	27,0	17,9	0,9	2,6	10,9
Figaredo — Muestra general*	39,3	23,2	29,2	1,8	1,3	5,4
Quirós — Muestra general*	47,3	14,4	29,3	2,2	3,5	3,3

\* Estos carbones flotados a 1,9.

claríticos, que coquizan bien, y los elementos duríticos y fustíticos, poco o nada coquizantes, por medio de una disgregación fina de estos últimos. Con ninguna de las dos formas de análisis queda expresada claramente la necesidad de la pulverización de la sustancia mal coquizante, ya que no se puede ver la cantidad de formas interme-

sis es necesaria porque en el proceso de la coquización el grano reacciona siempre como un total y no por bandas de 50 ó 100 micras de ancho. Aquí se consideran como clareno los granos que tengan menos de 2-3 % de material inerte. Los durenos genuinos no pueden contener tampoco más que 5-10 % de vitrinita. De los seis consti-

## CUADRO V

Análisis inmediato y botón de coque de varios carbones españoles

	HULLERA ESPAÑOLA	FABRICA DE MIERES	LA CAMOCHA	MINAS DE FIGAREDO	OUIROS (Fábrica de Mieres)
Humedad higroscópica..... %	0,7	0,9	1,8	0,6	0,6
Cenizas..... »	15,0	15,6	10,1	14,8	9,8
Materias volátiles..... »	18,6	24,6	84,9	22,2	18,1
Rendimiento en coque..... »	85,7	74,5	68,8	77,2	81,8
Carbono fijo..... »	70,7	58,9	58,7	62,9	71,5
Naturaleza del botón de coque.....	Gris oscuro, mal fundido y no hinchado	Gris claro, bien fundido y poco hinchado	Gris claro, bien fundido y poco hinchado	Gris plateado, bien fundido y poco hinchado	Gris claro, bien fundido y poco hinchado
Cenizas, referidas a m. s. .... %	15,1	15,8	10,8	14,4	9,9
Materias volátiles, id. .... »	18,7	24,8	85,4	22,4	18,2
Carbono fijo, id. .... »	71,2	59,4	54,8	68,2	71,9
Mat. volátiles, ref. a c. p. .... »	16,2	29,5	89,5	26,2	20,2
Carbono fijo, id. .... »	88,8	70,5	60,5	78,8	79,8

tuyentes que aparecen en el cuadro IV, a los que hay que añadir los estériles determinados aparte por flotación a 1,9 de densidad, se pueden considerar el vitreno y clareno como bien coquizantes, y el durenno, fuseno y mixtos (y también estériles) como mal o no coquizantes. Las formas comprendidas entre durenno y clareno ocupan, naturalmente, una posición intermedia a este respecto.

En las tres series ensayadas por M. Th. Mackowsky se observa que cuando el carbón es rico en durenno y fuseno, también los estados intermedios son relativamente abundantes en material inerte. Si la proporción de durenno y fuseno es menor de 5-10 %, también los estados intermedios están desplazados hacia un enriquecimiento en vitrenita. Desde el punto de vista técnico, esto tiene por consecuencia que cuando la participación en durenno y fuseno es más de 20 %, el comportamiento de los estados intermedios está inclinado hacia una mala coquizabilidad, así que entonces podría ser necesaria la pulverización selectiva. Siendo al contrario, los estados intermedios no tienen mucha influencia perjudicial, por lo que no sería necesaria la disgregación. Además, con esta forma de análisis se puede ver la repartición del durenno en los distintos tamaños, haciendo también deducciones sobre la necesidad, o no, de dicha trituración selectiva.

Para este tipo nuevo de análisis se puede realizar una representación gráfica triangular, en la cual las coordenadas representan: vitreno y clareno, claro-durenno y duro-clareno (estados intermedios), e inertita (durenno, fuseno, mixtos y estériles).

Los estudios petrográficos han conducido pues a nuevos métodos de preparación de carbones y mezclas para la coquización. Como es sabido, los típicos carbones de coque naturales son muy escasos, y se necesita resolver el problema de producir coque que sea adecuado a las exigencias del horno alto de gran tonelaje, a partir de carbones considerados de inferior calidad para este objeto.

Aunque sea salirse de los límites del presente trabajo, mencionaremos un procedimiento que se puede considerar sorprendente para la obtención de un carbón coquizable a partir de otro que no lo es. Se trata<sup>15</sup> del empleo de una radiación supersónica que realiza una redistribución de los enlaces interlaminares del carbón sobre el que actúa. Las fotografías con microscopio electrónico de la estructura interna de carbones coquizantes y no coquizantes, y de los carbones no coquizantes después de la irradiación, mostraban que en éstos se había inducido un desarrollo de los cristales de grafito y que su estructura interna se parecía a la del carbón coquizante.

Según las ideas de E. Burstlein<sup>16</sup> es necesaria una molienda selectiva para la preparación de una buena mezcla de carbones para la coquización. Aun cuando el coque se fabrique a partir de un solo carbón, al triturarlo a tamaño menor de 3 mm se verifica una concentración de los componentes petrográficos más blandos en las fracciones más finas, y a la inversa respecto a los componentes más duros. Es bien conocida la gradación de las propiedades de un mismo carbón, según sus diversos tamaños, respecto a las cenizas y volátiles, hinchamiento al crisol, plasticidad y constitución petrográfica. Y si el coque se fabrica a partir de una mezcla, como los carbones constituyentes tienen diferente dureza, puede ocurrir la separación antes mencionada respecto a las fracciones de mayor o menor tamaño. Una de las condiciones que contribuyen a la formación de un coque duro es el aumento de la densidad de la carga, compatible con el empuje de hinchamiento realizado sobre las paredes de las cámaras de los hornos, haciendo una distribución de tamaños tan aproximada como posible a la curva ideal de relleno de huecos. Teniendo el carbón de carga pequeña proporción de vacíos, se aumenta el rendimiento diario por horno y se obtiene un coque con características mejoradas, especialmente su resistencia a la abrasión. Generalmente, los constituyentes

más frágiles comprenden de 50 a 70 % del carbón, y éstos, según Burstlein, se separan por cribado en la primera fase de la preparación del carbón, y los constituyentes duros se someten a su vez a una molienda más intensa para reducir su tamaño a menos de 1,5 mm. El procedimiento clásico de preparación del carbón, conduciría a un supermolido de los componentes más frágiles y, en consecuencia, a un exceso de finos inadecuados por completo para obtener la curva ideal de relleno.

En Francia se han realizado multitud de ensayos para lograr procedimientos indus-

el durenno da un mal coque, producen los correspondientes puntos débiles en la estructura del producto final de la carbonización. El fuseno es también perjudicial para la obtención de un coque resistente, a no ser que el carbón sea rico en compuestos bituminosos. Da un botón plano, no hinchado. Al ser muy frágil tiende a concentrarse en el polvillo finísimo.

En el plan propuesto en la planta de Carling (Lorena), la separación de los finos de carbón en el lavadero contribuiría a un aumento en la resistencia del coque, porque elimina mucho fuseno. En resumen, se pue-

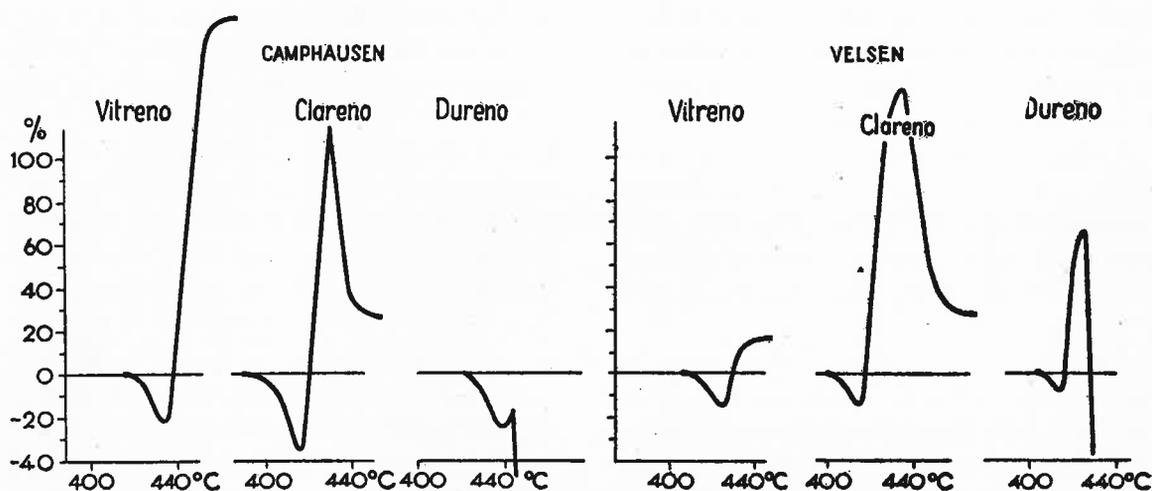


Fig. 1

triales para la obtención de coque siderúrgico a partir de mezclas de carbones del Sarre y de Lorena, no coquizables<sup>17, 18, 19</sup>. Todo el trabajo llevado a cabo en Lorena estaba en conexión con el análisis petrográfico del carbón. Se ha establecido ya por la mayoría de los investigadores que la plasticidad de la carga en la fase del semicoque se debe al vitreno y al clarenno y, además, que estos dos componentes funden más fácilmente si están en granos relativamente grandes, de 1,5 a 3 mm. El durenno es el más duro de los constituyentes petrográficos, y su efecto perjudicial sobre la formación del coque depende de que va en la carga en trozos relativamente grandes que, puesto que

de decir que entre los diversos tamaños que da una máquina trituradora: el durenno predomina en los granos mayores, el clarenno y vitreno en los intermedios, y el fuseno en los más finos. El durenno tiene muchas volátiles y cenizas; el fuseno pocas volátiles y muchas cenizas.

Con respecto a las propiedades plásticas que adquiere un carbón al calentarse, que tan decisivas son para juzgar sobre la aptitud del mismo a la coquización, los componentes petrográficos se comportan de diferente manera, con variaciones fundamentales según el grado de hullificación. De ensayos dilatométricos comparativos realizados sobre componentes petrográficos aislados a

partir de varios carbones de las cuencas del Sarre y de Lorena<sup>20</sup>, tomamos las figuras 1 y 2. En la primera se observa el comportamiento plástico de dos carbones del Sarre de diferente grado de hullificación. Se ve que los clarenos y durenos ricos en exinita muestran unos valores máximos de plasticidad más elevados y mayores intervalos que los vitrenos correspondientes. Además, el límite superior de la zona plástica está desplazado hacia las temperaturas más elevadas, y más en el durenno rico en exinita que en el clarenno. Con el ensanchamiento de la zona de plasticidad, se aprecia también un descenso del valor límite inferior hacia temperaturas menores, lo que se revela más fuertemente en el clarenno que en el durenno. Conviene señalar que el máximo de plasticidad para estos tres componentes

ensayos de plasticidad se hacían notar estas inclusiones por un comportamiento semejante al del clarenno. Por esto, a los vitrenos de este tipo hay que considerarlos como clarenos, desde el punto de vista del comportamiento en la coquización. Pero muchas veces se encuentran vitrenos puros, que se asemejan, por sus propiedades plásticas, a los clarenos.

En la figura 3 se pueden ver algunos ensayos de plasticidad de tales vitrenos con mucho betún. Muchas veces, estos vitrenos muestran, respecto a los vitrenos normales, unas zonas de plasticidad muy anchas y unos valores máximos de plasticidad muy altos. En concordancia con esto, las curvas dilatométricas indican unos valores de dilatación muy elevados, unidos a descensos más o menos fuertes de la rama de hinchamiento

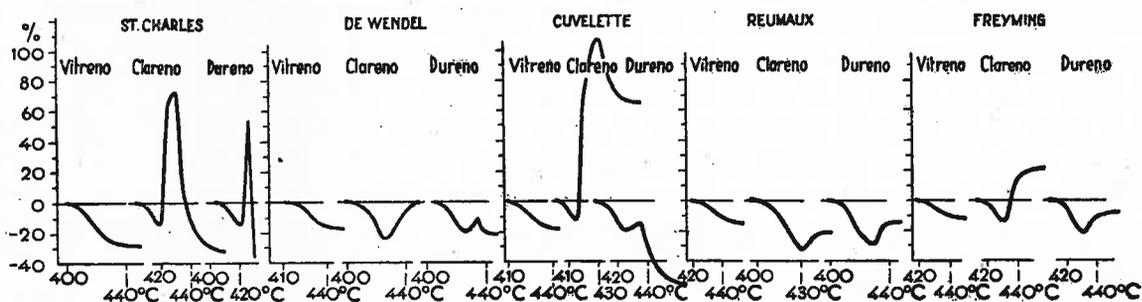


Fig. 2

de un mismo carbón viene situado, más o menos, a la misma temperatura.

En la figura 2 se representan las propiedades plásticas de algunos carbones de Lorena. Se reconocen otra vez: valores máximos más elevados e intervalos mayores para el clarenno y durenno, con desplazamiento simultáneo del intervalo o zona hacia temperaturas más elevadas, más acusadamente en el durenno que en el clarenno. Aquí también es la misma la temperatura del valor máximo de plasticidad, para los tres componentes.

La observación microscópica del material vitrítico mostraba en muchos casos una mayor o menor inclusión de resinita. En los

to y continuaciones horizontales. Este comportamiento anormal del citado grupo de vitrenos se puede explicar porque se encuentran en ellos inclusiones submicroscópicas de resinita.

Que sepamos, no se conoce por el momento ninguna relación directa entre los componentes petrográficos y el poder aglomerante del carbón, en la obtención del coque, respecto a los procesos íntimos que se desarrollan en los carbones que tienen aptitud para la coquización. Es necesario buscar esas causas últimas en las sustancias que se obtienen en la disolución fraccionada del carbón. Modernamente se han realizado muchos trabajos en este sentido, de

los que solamente vamos a mencionar el de Hadzi, Kavcic y Samec<sup>21</sup>, cuyos autores estudiaron el poder coquizante de sustancias orgánicas sencillas. Empezaron por  $\beta$ - $\beta$ -dinaftilsulfona que, con un calentamiento lento, produce una breya muy aglomerante. La 1-2-naftaquinona es muy aglomerante, siendo más débil la 4-oxinaftil-1-2-naftaquinona. La estilbenquinona se carboniza sin fundir, la antraquinona, la tetrahydroantraquinona y otras quinonas se subliman. También son aglomerantes la sacarosa y la gelatina. Por

#### 6.-INVESTIGACIONES DIVERSAS RELACIONADAS CON EL ESTUDIO PETROGRAFICO DEL CARBON

En el transcurso de la hullificación, desde los carbones flambantes hasta la antracita, aumenta el contenido en carbono fijo de una vitrinita, por ejemplo de 60 a 95 %, y el poder de reflexión sube de un 8 a un 14 %. Solamente se pueden medir las variaciones del poder de reflexión de la vitrinita en relación con el grado de hullificación, ya

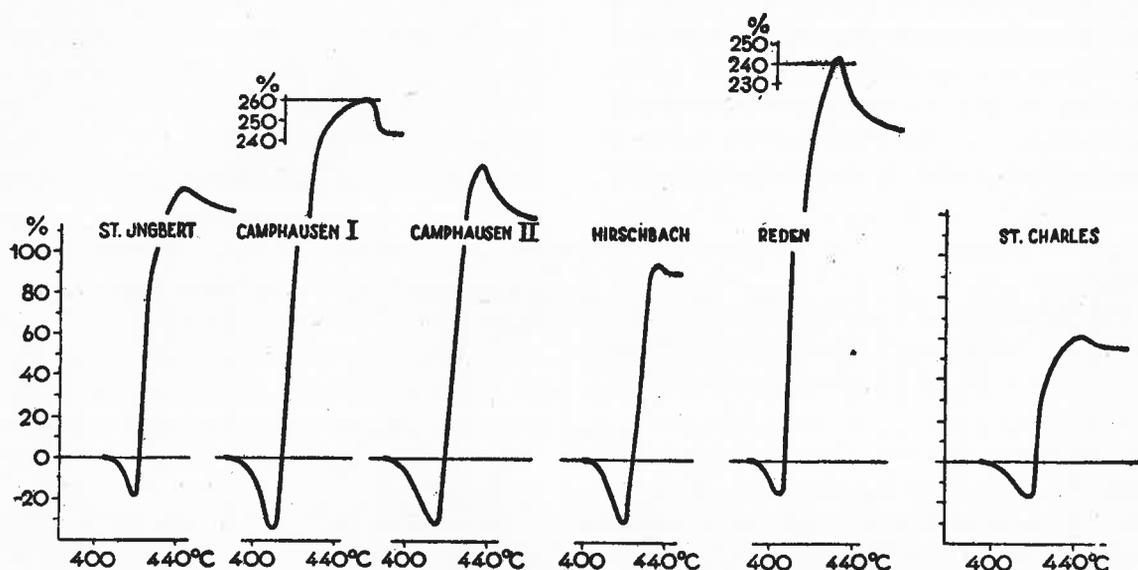


Fig. 3

condensación de la naftalina con  $Cl_3Al$  se origina una breya muy aglomerante, cuyas propiedades de solubilidad concuerdan con las de los asfaltenos. Sobre la manera de verificarse el efecto mutuo entre aglomerante e inerte, informa el hecho de que los asfaltenos, en condiciones adecuadas, pueden ceder hidrógeno. Ya es sabido que los carbones pueden hidrogenarse y que, por una adecuada operación de este tipo, se obtiene, a partir de los lignitos, un material que está en condiciones, no sólo de coquizar por sí mismo, sino también de aglomerar lignitos no tratados, formando un coque resistente.

que se demostró que la superficie de todos los componentes, en las probetas pulidas, es abovedada a excepción de la vitrinita. Con los métodos de pulido actuales, el poder de reflexión de la exinita, micrinita, escleritinita, semifusinita, fusinita y coque resulta siempre demasiado bajo. Wege<sup>22</sup> midió el poder de reflexión de vitrinitas con una gran exactitud, suficiente, con seguridad, para que hubieran podido ser captadas discontinuidades del poder de reflexión en el transcurso de la hullificación. Sin embargo, se demostró que el poder de reflexión de la vitrinita crece continuamente con el citado grado de hullificación, sin que se pudie-

ra confirmar la subida escalonada indicada por C. A. Seyler. Se comprobó también que, hasta las antracitas, existe una relación casi lineal entre el poder de reflexión y el contenido en carbono fijo o en materias volátiles, aumentando el poder de reflexión con la disminución de éstas. Puede verse un resumen de los trabajos de Seyler en un libro publicado por el Instituto Nacional del Combustible<sup>28</sup>.

Respecto a los procesos de hullificación, M. Th. Mackowsky<sup>24</sup> expone unas hipótesis en las que se relacionan las condiciones (aerobias o anaerobias) del medio con el origen de los diversos constituyentes petrográficos.

Referente a las modificaciones de la naturaleza química en vitrenos, durenos y clarenos durante la hullificación, en relación con su contenido en agua higroscópica y materias volátiles, así como con los cuerpos figurados y las inclusiones, ha hecho un documentado trabajo K. Patteisky<sup>25, 26</sup>.

A propósito de la hullificación en el carbonífero del Ruhr, E. Stach<sup>27</sup> dice que así como, según Seyler, las variaciones en el poder de reflexión de los vitrenos tienen lugar escalonadamente, en el durenno tiene también lugar una variación brusca de su naturaleza. Este es el concepto de «salto de hullificación» (Inkohlungssprung). Indica Stach que también hay un salto en la naturaleza química: en los carbones flambantes y de gas el durenno tiene más volátiles que el vitrenno, ocurriendo lo inverso para los carbones grasos y magros. El mismo autor opina que no existe ninguna duda de que, en oposición a los vitrenos, los durenos tienen una composición química muy diferente por encima y por debajo del salto en la hullificación, precisamente por un contenido mucho menor de hidrógeno en los durenos por debajo de dicha mutación. Esta disminución del contenido en hidrógeno se ve claramente en el empaldecimiento de las esporas y cutículas.

Como modelo de estudios en este sentido, citaremos el trabajo de J. Leisser<sup>28</sup>, muy interesante desde el punto de vista de las

investigaciones petrográficas en las capas de un yacimiento determinado. Se incluyen en él perfiles y análisis microscópicos, con sus resultados expresados en diagramas triangulares. Contiene muchas microfotografías de vitrenos, clarenos y durenos, así como de las inclusiones minerales singenéticas, también semifusinita, esclerotinita y diversos tipos de mixtos constitutivos. Además, análisis elementales e inmediatos, ensayos del poder aglomerante, del hinchamiento y del comportamiento de las cenizas en la fusión de los carbones.

Sobre el intercambio iónico en hullas y lignitos, H. Stach y M. Teichmüller han publicado un trabajo<sup>29</sup> donde estudian el efecto de la sulfonación, observando un aumento del poder de reflexión de la sustancia húmica y bituminosa, muy importante en los lignitos y relativamente pequeño en los carbones grasos, con disminución constante en los estados intermedios de hullificación, y hasta una inversión en la antracita.

El estudio microscópico del carbón proporciona también un medio para la investigación de los componentes minerales causantes de la silicosis en las minas de carbón<sup>30</sup>.

Si se calientan los carbones en atmósfera oxidante, aparecen en los granos los llamados «ribetes» de oxidación. A esta oxidación son diferentemente sensibles los diversos constituyentes petrográficos<sup>31</sup>.

## BIBLIOGRAFIA

- <sup>1</sup> Freund, H., *Handbuch der Mikroskopie in der Technik*, Band II, Teil I, 3-63, Frankfurt am Main, 1952.
- <sup>2</sup> *Bol. Inform. Inst. Nac. Carbón*, III, **16**, 44-45, 1954.
- <sup>3</sup> *Atlas für angewandte Steinkohlenpetrographie*, p. 10, Verlag Glückauf, Essen, 1951.
- <sup>4</sup> *Bol. Inform. Inst. Nac. Carbón*, II, **9**, 5-34, 1953.
- <sup>5</sup> Stach, E., *Lehrbuch der Koblennmikroskopie*, pág. 54, Glückauf-Kettwig, 1949.
- <sup>6</sup> Obra citada en <sup>5</sup>, pág. 59.
- <sup>7</sup> Obra citada en <sup>5</sup>, pág. 269.
- <sup>8</sup> Obra citada en <sup>5</sup>, pág. 188.
- <sup>9</sup> *Brennst.-Chem.*, **11/12**, 177, 1954.

- <sup>10</sup> Deman, W., Radmacher, W. y Mantel, W., *Brennst.-Chem.*, **9/10**, 129-143, 1954.
- <sup>11</sup> Brückner, H., *Untersuchungsverfahren für feste Brennstoffe*, pág. 259, München, 1943.
- <sup>12</sup> Obra citada en <sup>8</sup>, pág. 317.
- <sup>13</sup> *Rev. industr. minér.*, **34**, **593**, 359-373, 1953.
- <sup>14</sup> *Brennst.-Chem.*, **13/14**, 197, 1954.
- <sup>15</sup> *Coke and Gas*, **168**, 175, 1953.
- <sup>16</sup> Ver, por ejemplo, Bürstlein, E., *La preparación petrográfica de los carbones y su aplicación a la industria de la destilación de la hulla*, Instituto Nacional del Carbón, Oviedo, 1951.
- <sup>17</sup> Minchin, L. T., *Coke and Gas*, **168**, 167, 1953.
- <sup>18</sup> Abramski, C., *Brennst.-Chem.*, **3/4**, 51, 1953.
- <sup>19</sup> Cheradame, R., *Coke and Gas*, **179**, 143, 1954.
- <sup>20</sup> Hoffmann, H., y Hoehne, K., *Brennst.-Chem.*, **13/14**, 202, 1954.
- <sup>21</sup> *Brennst.-Chem.*, **3/4**, 44, 1954.
- <sup>22</sup> *Ibid.*, pág. 33.
- <sup>23</sup> Pintado Fe, F., *El Carbón, algunos aspectos de los estudios sobre su origen, propiedades, preparación y utilización*, tomo III, pág. 452, Instituto Nacional del Combustible, Madrid, 1951.
- <sup>24</sup> *Brennst.-Chem.*, **11/12**, 182, 1953.
- <sup>25</sup> *Ibid.*, **5/6**, 75, 1953.
- <sup>26</sup> *Ibid.*, **7/8**, 102, 1953.
- <sup>27</sup> *Ibid.*, **23/24**, 353, 1953.
- <sup>28</sup> *Ibid.*, **17/18**, 257, 1953.
- <sup>29</sup> *Ibid.*, pág. 275.
- <sup>30</sup> Thaer, A., *Glückauf*, **23/24**, 554, 1953.
- <sup>31</sup> Schroeder, H., *Brennst.-Chem.*, **1/2**, 14, 1954.

## RESUMEN

Se hace una exposición de los métodos de análisis petrográfico de carbones y de la preparación de probetas para su examen al microscopio, así como una

breve descripción de las características de los componentes petrográficos del carbón. Además, se mencionan las aplicaciones de los estudios petrográficos, especialmente en lo que concierne a su utilidad para la selección y preparación de carbones y de sus mezclas para la industria de la fabricación de coque. También se hace una síntesis de los trabajos referentes al desarrollo de los estudios de petrografía del carbón.

## RÉSUMÉ

On fait un exposé sur les méthodes d'analyse pétrographique des charbons, ainsi que sur la préparation des éprouvettes pour l'examen microscopique. On donne une brève description des caractéristiques des constituants pétrographiques du charbon, tout en mentionnant les applications des études pétrographiques, spécialement celles qui sont en rapport avec la sélection et la préparation des charbons et de leurs mélanges pour la fabrication du coke. On fait aussi une synthèse des travaux sur le développement d'autres types d'études sur la pétrographie des charbons.

## SUMMARY

The different methods for the petrographical analysis of coals and for the preparation of samples for these studies are described, as well as the characteristics of the petrographical components of the coals.

After studying the application of these methods to the preparation and selection of coals and blends for the manufacture of coke, the author briefly refers to other recent works related to the petrographical study of coals.

Recibido en diciembre de 1954.

