

**BITUMINIZACIÓN Y PROPIEDADES COQUIZANTES DEL  
CARBÓN, CON REFERENCIA AL DE LA  
CUENCA DE RÍO TURBIO**

por FEDDERICO A. J. BERGMANN

## TEMARIO

A) Introducción. — B) Generalidades. - I. Tipos genéticos de carbones. - II. Los carbones húmicos. — C) Bituminización del carbón. - I. Investigaciones sobre extracciones. - II. El proceso de bituminización. - III. Relación entre bitúmenes y propiedades coquizantes del carbón. - IV. Conclusión. — D) Bitúmenes del carbón de Río Turbio. - I. Generalidades sobre la reserva carbonífera nacional. - II. Rasgos constitutivos del carbón de Río Turbio. - III. Significado de los cambios de facies. - IV. Conclusión. — E) Resumen y conclusión.

#### S U M M A R Y

In this paper the author explains the now admitted ideas about the formation of bitumens in mineral coal. According with these ideas, there are humic and liptobiolitic bitumens. The humic ones condition principally the coking properties of coal in connection with other physical and petrographical factors.

It is possible to accept that in the Rio Turbio coal both, humic and liptobiolitic bitumens, are present in different proportions. For this reason it would be possible to localize, within such coal basin, partial reserves of mineral with higher coking qualities than those known at the present time.

A. — INTRODUCCIÓN: El presente trabajo tiene por finalidad considerar los siguientes puntos:

- a) El proceso natural de bituminización del carbón.
- b) La relación entre bitúmenes y propiedades coquizantes del carbón.
- c) Características bituminicas del carbón de Río Turbio y perspectivas para su coquización.

A los efectos de facilitar el desarrollo del tema, primeramente consideraré algunas generalidades referentes a los carbones desde el punto de vista de su génesis y constitución.

B. — GENERALIDADES.

I. — *Tipos genéticos de carbones*: Existen dos tipos fundamentales de carbones desde el punto de vista genético: los carbones húmicos y los carbones sapropélicos.

Los primeros se originaron por la acumulación de restos vegetales terrestres ricos en celulosa y lignina. Dicha acumulación motivó la formación de turbales similares a los que actualmente conocemos, en los cuales los restos vegetales sufrieron una descomposición bacteriana aerobia y/o anaerobia, condicionada substancialmente por los siguientes factores:

- a) Composición de la materia vegetal.
- b) Temperatura.
- c) PH.
- d) Nivel de las aguas impregnantes (o aislantes).
- e) Remoción de las aguas.
- f) Velocidad de crecimiento de la turbera.

Como consecuencia de la descomposición bioquímica se originó la turba o sea el primer estadio en la formación de los carbones húmicos. Posteriormente la turba sufrió en esencia una intensa deshidratación, transformándose en lignito, y lue-

go, una profunda modificación químico-estructural motivando la hulla, la antracita y finalmente el grafito. Esta última modificación, desde el punto de vista químico, se caracteriza fundamentalmente por un progresivo aumento en C a costa de una correspondiente pérdida en O e H. Este fenómeno de enriquecimiento progresivo en C, oportunamente lo he designado con el término "incarbonación" <sup>x</sup>.

Los carbones sapropélicos se formaron debajo de una capa de agua estagnante a partir de acumulaciones principalmente de plantas acuáticas, entre las que privaron las algas. El material rico en sustancias grasas, así como también en resinas y ceras provenientes en buena parte de restos resistentes de la flora terrestre, soportó primeramente una destrucción anaerobia que motivó un relativo enriquecimiento en H, y ulteriormente una transformación química equivalente, pero diferente, al proceso de incarbonación de los carbones húmicos. Dicha transformación consistió en esencia en una simple polimerización.

Por consiguiente, hubo dos procesos químico-evolutivos dentro de los carbones: el de la incarbonación de los carbones húmicos y el de la polimerización de los carbones sapropélicos.

Si bien desde el punto de vista físico, químico y petrográfico los distintos carbones húmicos y sapropélicos no resultan cotejables entre sí, desde el punto de vista geológico, a grandes rasgos, los mismos podrían homologarse tal como se indica en el cuadro de la Fig. 1 que he confeccionado apoyándome en las ideas de Stadnikoff (Stadnikoff, G., 1931).

Cabe destacar que, carbones húmicos o sapropélicos puros en la naturaleza prácticamente no existen. Entre las líneas combustibles turba-antracita y balchasita-boghead hay infinitas formas intermedias que fueron clasificadas desde diversos puntos de vista. Ambas líneas evolutivas se confunden en el último estadio metamórfico: el grafito, que técnicamente ya no se considera un combustible, sino un mineral con otras aplicaciones industriales.

II. — *Los carbones húmicos*: A los fines perseguidos, en adelante siempre me referiré a los carbones húmicos, o mejor dicho, a aquellos carbones de base húmica dominante, cuya

<sup>x</sup> Traducción del término específico en alemán (= "Inkohlung"). Reemplaza al término carbonización, que es sinónimo de pirogenación (= "Verkokung", en alemán; "carbonization", en inglés; y "carbonisation", en francés).

evolución ha respondido a dos procesos geológicos diferentes: la diagénesis y el metaformismo (Fig. 1).

La diagénesis consistió en la compactación de la turba como consecuencia de su sepultación. Durante la misma, la incarbonación incipiente fué mínima comparada con la deshidratación, pasándose de la turba con un máximo de un 95 % de agua, al lignito blando, terroso o pardo con un mínimo de

|                                      |                     |                             |                        |
|--------------------------------------|---------------------|-----------------------------|------------------------|
|                                      | Carbones<br>húmicos | Carbones<br>sapropélicos    | Procesos<br>geológicos |
|                                      | Turba               | Balchaschita-<br>Coorongita | Diagenesis             |
| C<br>A<br>R<br>B<br>O<br>N<br>E<br>S | Lignito             | Gagat                       |                        |
|                                      | Hulla               | Boghead                     | Metamorfismo           |
|                                      | Antracita           |                             |                        |
|                                      | Grafito             |                             |                        |

Fig. 1.-

un 30 % de agua. Ulteriormente dicho lignito, sometido a ciertas temperaturas y presiones durante lapsos considerables, sufrió sobre todo un proceso metamórfico consistente en un intenso cambio químico-estructural que produjo la hulla, la antracita y aún el grafito.

El pase de un lignito blando, terroso o pardo, o sea de un lignito verdadero, a una hulla, se realiza de manera gradual a través de los lignitos duros o brillantes que son formas transicionales con caracteres mezclados de lignito y hulla. Lo mismo sucede con el pase de la hulla a la antracita, pero en este caso el proceso transformativo se manifiesta (por lo menos a

la investigación) más breve que el anterior, no justificándose para el mismo la creación de un grupo carbonoso intermedio.

Desde hace unos 90 años los geólogos europeos comenzaron a utilizar los resultados del análisis inmediato o sumario de los carbones para clasificar a éstos de acuerdo a su grado de evolución natural, y desde entonces el contenido en carbón

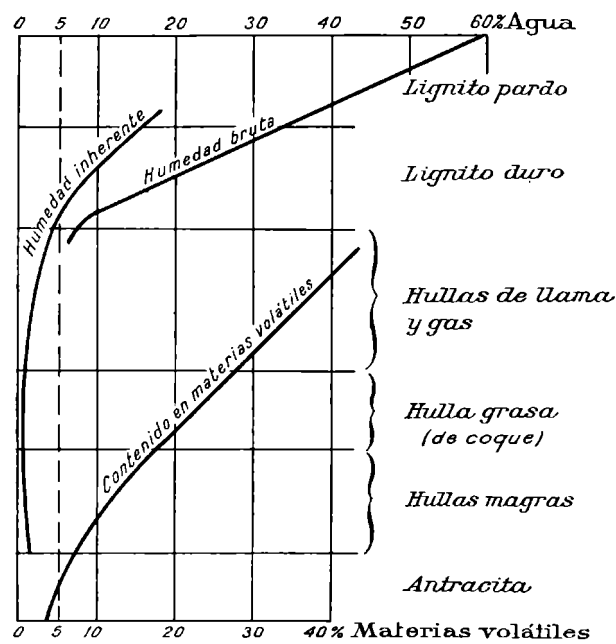


Fig. 2

fijo o materias volátiles son datos que hasta el momento han sido tenidos en cuenta por todas las clasificaciones de carbones. Al respecto llama la atención que recién hace unos 15 años se haya podido científicamente comprobar que los mencionados datos constituyen una verdadera medida para apreciar el grado evolutivo o metamórfico de los carbones. En el gráfico de la Fig. 2 se indica la curva de las materias volátiles

de los carbones húmicos cuyos nombres corresponden a las clásicas acepciones europeas. Además, se señalan las curvas de humedad bruta e inherente, vale decir, de los carbones "in situ" y secados al aire, con lo que se comprenderá lo dicho precedentemente con respecto a la diagénesis de los lignitos.

Hoy en día, para juzgar químicamente a los carbones, además del contenido en materias volátiles y carbón fijo, se tienen en cuenta los datos suministrados por el análisis elemental y las relaciones atómicas H/O, H/C y O/C. Además, en base a esos valores y a la aplicación de métodos físicos y químicos análogos a los que Leenderste, Watermann y otros desarrollaron para la investigación estructural de los petróleos, resulta posible calcular para cada nivel carbonoso los siguientes datos de utilidad al respecto:

- a) Fracción aromática y alifática.
- b) Número medio de anillos de la fracción aromática, por átomo de C.

En lo referente a la constitución íntima de los carbones<sup>3</sup>, cabe aclarar que recién poco antes de la segunda guerra mundial se pudo lograr una idea concreta sobre la misma. En tal sentido se llegó a comprobar que el carbón es simplemente un coloide. A medida que la materia vegetal de la turbera se transforma en ácidos húmicos, éstos reemplazan a aquella en forma de dispersiones coloidales que permanecen como tales durante todo el estadio turba-lignito. En las hullas las micelas de dichas dispersiones floculan, a la par que las moléculas de ácidos húmicos que integran esas micelas, por descomposición y condensación, se transforman en diversas categorías de huminas. Vale decir, que durante el estadio turba-lignito el carbón es un sol, mientras que durante el estadio hulla-antracita el carbón es un gel.

Aplicando en gran parte los fundamentos de la química coloidal se pudieron reproducir en laboratorio las distintas fases evolutivas dentro de las formas turba-lignito y hulla-antracita. Pero lo que no se ha logrado a la fecha es pasar de un lignito a una hulla, es decir, pasar de un carbón sol a un carbón gel. Es indudable que cuando se logre romper la "barrera del gel", se habrá dado un importante paso para el conocimiento íntimo de los carbones, de proyecciones insospechadas para algunas de sus aplicaciones industriales.

Como se dijo precedentemente, las micelas de las hullas y antracitas sufrieron una profunda transformación químico-estructural, que últimamente ha sido explicada por van Krevelen.

len (1953) de la siguiente manera: las hullas de baja incarbonación se hallan constituidas por huminas que forman grupos de anillos aromáticos relativamente pequeños unidos entre sí por puentes no aromáticos o alifáticos, teniendo por consiguiente las moléculas que integran dichas micelas una construcción tridimensional tal como Bangham y colaboradores habían supuesto. Dichas hullas, ulteriormente, durante su evolución, van perdiendo poco a poco los puentes alifáticos a la par que los grupos de anillos aromáticos se hacen cada vez más grandes adquiriendo una disposición laminar. Estas especies de láminas, además tienden al mismo tiempo a crecer de acuerdo a la estratificación del carbón, formando como rimeros de panales de abeja superpuestos que se van sucesivamente orientando entre sí, de tal manera que sus átomos tienden hacia un ordenamiento geométrico que, cuando es alcanzado, constituye los cristales de grafito. La forma precristalina de las hullas y antracitas se denomina "cristalito". Tales cristalitos fueron estadísticamente interpretados en sus formas y dimensiones de acuerdo a datos roentgenográficos (Sedletzky y Kunowsky, 1936), en base a mediciones interferométricas con rayos X, por confrontación de patrones pusieron de manifiesto el parentesco genético de la línea lignina-lignito-hulla-antracita y grafito. Hecho confirmado ulteriormente por Adge, Schürenberg y Jodl (1949), quienes además ya en los ácidos húmicos supusieron la existencia de cristalitos de hábito hexagonal. En los carbones, últimamente se admite que el tamaño medio de los cristalitos fluctúa, según el rango, entre 20 y 30 Å.

El mecanismo de la reseñada transformación químico-estructural condiciona las características físicas de las hullas y antracitas, de tal manera que por el mismo hoy nos explicamos los cambios referentes a la porosidad, superficie interior, energía de superficie, densidad real, reflexión, refracción, adsorción, etc., de esos carbones, como así también muchos de los intrincados problemas de su tecnología, como por ejemplo, los procesos íntimos de fluidización, contracción e hinchamiento durante la coquización, fenómenos éstos que prácticamente hasta la fecha nunca habían sido satisfactoriamente explicados.

A los efectos de una visión de conjunto en lo que a la evolución natural de los carbones se refiere, es importante tener presente lo siguiente:

- a) El fenómeno de incarbonación se lleva a cabo en cada fracción de carbón de una manera heterogénea, de tal manera que el rango que determinamos es un

promedio del distinto grado de incarbonación de cada micela. A manera de ejemplo, en el esquema de la Fig. 3 se pretende representar la disposición de las micelas de una fracción de carbón de coque; las micelas de mayor diámetro poseen una mayor categoría; el promedio de incarbonación de estas micelas es el que nos da el grado de incarbonación de la fracción que consideramos.

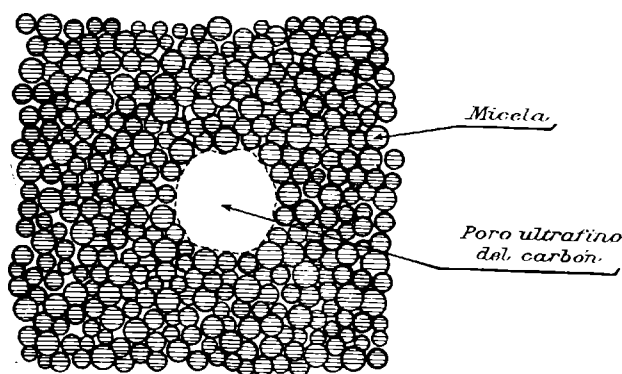


FIG. 3

- b) Los niveles de incarbonación de las distintas partes o fracciones de un carbón difieren entre sí de acuerdo al tipo de resto vegetal sobre el cual se produjo el proceso. A medida que dicho proceso se fué llevando a cabo, las mencionadas diferencias se hicieron cada vez menos pronunciadas hasta que prácticamente desaparecieron en las hullas magras y antracitas. En la Fig. 4 se indica esquemáticamente lo dicho, en función de las relaciones atómicas H/C y O/C.

Para terminar con estas generalidades, cabe destacar que las relaciones entre las características físicas, químicas y petrográficas de los carbones son tan íntimas, que hoy en día no se concibe ningún estudio a fondo sobre los mismos, sin recurrir a su denominado trípode de investigación, o sea a la Física, Química y Petrografía de Carbones.

C. — BITUMINIZACIÓN DEL CARBÓN: La denominada bituminización del carbón es un fenómeno particular dentro del pro-

ceso de incarbonación reseñado precedentemente. El concepto de bituminización nació como consecuencia de las investigaciones sobre extracciones del carbón por medio de disolventes orgánicos.

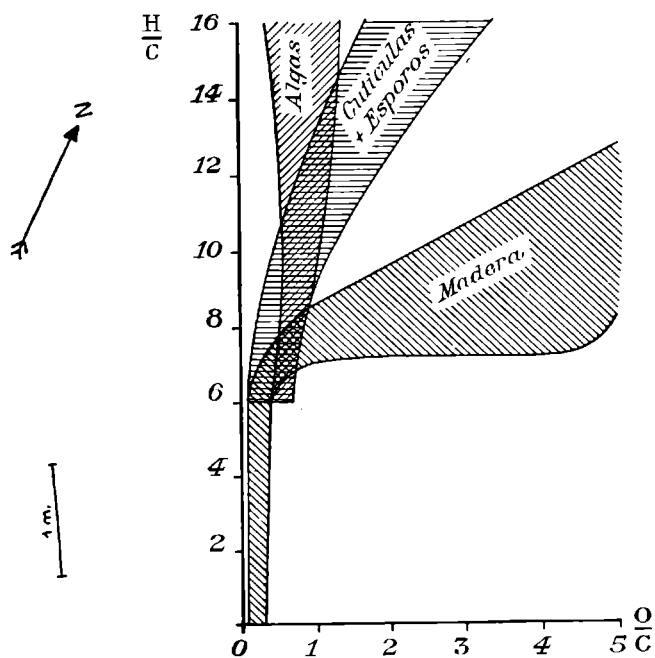


Fig. 4

I. — *Investigaciones sobre extracciones*: Se designan como bitúmenes del carbón a las partes del mismo extraíbles por medio de disolventes orgánicos. Según las propiedades específicas del disolvente empleado (especialmente su tensión superficial) y las condiciones de trabajo (presión y temperatura\*), de cada tipo de carbón se obtienen distintos bitúmenes que corrientemente se definen por su solubilidad, punto

\* Lógicamente, esta última debe ser inferior a la temperatura de descomposición del carbón tratado.

de fusión y análisis elemental. Es por ello que el concepto de bitumen se ha restringido siempre, por cada investigador, a aquellas substancias que se extraen mediante un disolvente especial. Pero si bien a los bitúmenes cada investigador los ha definido a su manera, en general se admite que los mismos son los compuestos que durante la destilación producen alquitrán, agua y gas, y que en buena parte condicionan las propiedades de fusión, hinchamiento y coquización en general. De allí la gran importancia que en la práctica reviste la investigación de dichas substancias.

Varios fueron los trabajos iniciales en este campo de estudio, pero se puede decir que recién con De Marsilly, cit. 11, en la segunda mitad del siglo pasado, se dió comienzo a la investigación sistemática pertinente. Este investigador extractó dos carbones con benceno, alcohol, éter, cloroformo y sulfuro de carbono, comprobando que las propiedades coquizantes de esos carbones decrecían a medida que se les iba substrayendo los bitúmenes. Este ya fué un hallazgo de especial significancia, corroborado ulteriormente por un nutrido número de investigadores entre los cuales resultan hoy ya clásicos los nombres de Frémy, Vignon, Wheeler, Fischer, Novák, Hubáček, etc.

II. — *El proceso de bituminización*: Como consecuencia de las investigaciones sobre extracciones de carbones se emitieron diversas opiniones referentes a la formación de sus distintos bitúmenes. Con todo, si bien este problema está aún lejos de ser aclarado, sabemos que existen dos clases de bitúmenes correlativos a los tipos genéticos de carbones mencionados precedentemente.

Para comprender el origen de esas clases de bitúmenes veamos sucintamente la evolución química de los carbones húmicos, de acuerdo a las ideas que se sustentan siguiendo, en sus líneas generales, las adelantadas oportunamente por Kreulen (1935). De las substancias de los restos vegetales que intervinieron en las acumulaciones que motivaron esos carbones, los azúcares, las proteínas y la celulosa se descompusieron en su casi totalidad por la acción bacteriana de la turbera, produciéndose especialmente a partir de la última sustancia  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$  y ácidos alifáticos, como el ácido fórmico, acético y láctico, que al infiltrarse en las arcillas infrayacentes, disolvieron los compuestos de hierro, produciendo el emblanquecimiento que accidentalmente se observa en las capas que constituyen el piso de los mantos de carbón.

En las maderas la relación celulosa: lignina es aproximadamente 2:1, pero dicha relación es sensiblemente alterada

desde que la actividad bacteriana comienza en las turberas su acción destructora. Fuchs (1935), por ejemplo, ha constado que esta relación en las turberas de páramo de la época diluvial llega al orden de 2:18. Por consiguiente, desde los primeros estadios, hay un pronunciado enriquecimiento relativo en lignina, la que se transforma durante el amplio proceso de incarbonación en ácidos húmicos, los que a su vez se descomponen y condensan formando diversas clases de huminas. Estas huminas aparecen en las hullas, formando sus moléculas las micelas gelificadas que mencioné anteriormente.

Al realizarse la transformación de los ácidos húmicos en huminas, así como también la ulterior transformación de éstas, se siguen produciendo desprendimiento de  $H_2O$ ,  $CO_2$  y  $CH_4$ , y además se lleva a cabo una modificación progresiva de la parte periférica de las micelas, de tal manera que éstas se irán diferenciando en un núcleo, constituido por huminas, de carácter oleofóbico, y una cubierta, de carácter oleofílico, que son los bitúmenes. El pase del núcleo a la periferia es sensiblemente transicional, y está dado principalmente por las pérdidas de grupos polares  $COOH$ — de las moléculas de huminas<sup>x</sup>. En la Fig. 5, se esquematiza una micela húmica.

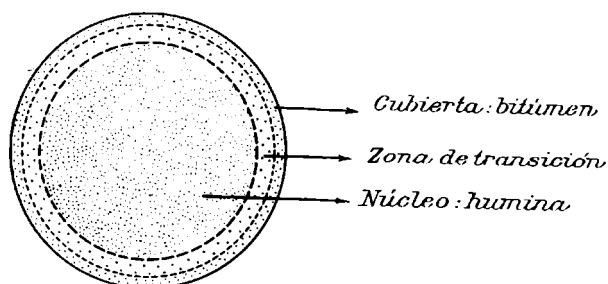


Fig. 5

Tales bitúmenes derivados de los ácidos húmicos y huminas se denominan bitúmenes húmicos. Son típicos de los carbones húmicos, y recién aparecen en las hullas.

<sup>x</sup> El residuo que queda durante la pirogenación está formado esencialmente por huminas; los bitúmenes se volatilizan. De allí que el contenido en materias volátiles o carbón fijo de un carbón constituya una medida real de su metamorfismo.

Pero precedentemente he dicho que carbones húmicos puros, vale decir, constituídos exclusivamente por ácidos húmicos o sus huminas y bitúmenes derivados, en la naturaleza prácticamente no existen. En los mismos hay siempre una porción de carácter sapropélico, representada por restos de esporos, pólenes, cutículas vegeales, etc., ricos en resinas y ceras, y subordinadamente, integran también dicha porción derivados de grasas, gomas, etc. Tales restos, por su composición, se han salvado en su mayor parte de la destrucción microbiana, designándose los con el nombre genérico de liptobiólitos. Su evolución química durante el metamorfismo consistió primordialmente en una polimerización. Además, conjuntamente con este contenido liptobiolítico, en los carbones terciarios, por proceder éstos en buena parte de restos de gimnospermas, aparece cierta cantidad de resina impregnando las vitritas derivadas de la madera; dicha resina evolucionó químicamente de igual manera que los restos anteriores. El contenido en resinas, ceras, etc., que acompaña a los carbones húmicos, también produce abundantes bitúmenes en presencia de disolventes orgánicos. Estos bitúmenes complexivamente se los puede designar como bitúmenes liptobiolíticos, por proceder en su mayor parte de restos vegetales resistentes a la destrucción microbiana. Tales bitúmenes aparecen ya en el estadio de turba.

En resumen: hay en los carbones húmicos normales o corrientes dos clases de bitúmenes, los húmicos que recién aparecen en las hullas, y los liptobiolíticos que ya aparecen en las turbas. Ambos bitúmenes integran el bitumen total del carbón.

III. — *Relación entre bitúmenes y propiedades coquizantes del carbón*: De acuerdo a las investigaciones practicadas al momento, existe una íntima correspondencia entre los bitúmenes del carbón y los productos que se obtienen de éste durante su destilación seca o pirogenación. Dentro de esta última técnica, resulta de la mayor importancia considerar la relación existente entre los bitúmenes y las denominadas propiedades coquizantes del carbón.

Se dice que un carbón coquiza normalmente cuando durante su destilación seca, a una velocidad de calentamiento de 2-3 °C/minuto, la masa sólida residual se ajusta a la siguiente secuencia: fusión-descomposición-hinchamiento. Los carbones que se adaptan a este orden son precisamente los carbones de coque. A temperaturas algo superiores a la de su total desecamiento, esos carbones comienzan a largar gases, ablandarse y

contraerse; pero recién entre los 350-450 °C se produce en los mismos el mayor escape de gases, de tal manera que éstos alcanzan a dilatar o hinchar el carbón fundido por un proceso similar al de la formación de espuma. En los carbones con muchas materias volátiles la desgasificación es prematura, y en los carbones magros es insuficiente; como consecuencia de lo cual el coque que se produce es pulverulento, contraído o agrietado. Con todo, cabe aclarar que de los carbones con alto contenido en materias volátiles es posible obtener coque aglomerado acelerando la velocidad de calentamiento, de tal manera que se logre superponer o invertir las fases de descomposición y fusión; precisamente, en los ensayos dilatómétricos de Audibert, cit. 11, se contempla esta posibilidad motivando calentamientos repentinos sumergiendo el carbón en baños de plomo o mezclas de sales fundidos.

La influencia de los bitúmenes en las propiedades coquizantes de los carbones se pueden inferir de los siguientes datos experimentales:

- a) Después que un carbón coquizante ha sido extractado, el residuo que queda ha perdido sus propiedades coquizantes; en cambio del extracto se obtiene un coque bien fundido, hinchado y frágil. Si se vuelven a reunir residuo y extracto, el conjunto recupera las primitivas propiedades coquizantes.
- b) Las partes del carbón que dan bitúmenes liptobiolíticos, forman un coque pulverulento <sup>x</sup>.

De acuerdo a lo dicho, las propiedades coquizantes de un carbón dependerían de un cierto contenido en bitúmenes húmicos, lo que además concuerda con las experiencias de Gillet y van Krevelen, cit. 11, referentes a las recuperaciones de esos bitúmenes con aumentos progresivos de temperatura. Al respecto estos investigadores demostraron que en una extracción de bitúmenes, a medida que se aumenta la temperatura, la recuperación tiende a aumentar desde los carbones de inferior categoría hacia los carbones de mayor categoría, lo que indica que el rendimiento de extracción en función de la temperatura depende de la plasticidad del carbón, la cual alcanza su grado óptimo en los carbones con 25-28 % de materias volátiles (s/seco, s/cenizas), o sea, precisamente, en los carbones de coque.

<sup>x</sup> Esto es enteramente cierto para carbones terciarios, pero discutible para carbones paleozoicos en los que gravita la contextura fina de los mismos.

Este punto de vista, sostenido principalmente por los químicos, en verdad contribuye a explicar las propiedades coquizantes del carbón, resultando incluso útil como patrón estimativo de las mismas. Pero el problema, en su aspecto integral, debe ser contemplado desde otros puntos de vista.

Berkowitz (1949), entre otros, ha enfatizado el aspecto físico, señalando que los carbones coquizan tanto mejor cuanto más pequeños son sus poros, a causa de que al producirse la desgasificación los gases encuentran mayor dificultad en evadirse produciendo grandes presiones dentro de la masa del mineral. A causa de esas presiones, al ablandarse el carbón se produce su esponjamiento o hinchamiento. Esta opinión ha sido perfectamente corroborada en la práctica: hoy sabemos con certeza que los carbones de porosidad más baja, o sea, con menor humedad inherente o energía de superficie (ver Fig. 2), son precisamente los carbones de coque.

Desde el punto de vista petrográfico se ha comprobado que las vitritas humínicas son las que mejor coquizan, decreciendo sus propiedades al respecto en la medida en que intervengan en su mezcla componentes inertes como las fusinitas, semifusinitas y micrinitas, o componentes resínicos-céreos con bitumen liptobiolítico.

Muchas veces, investigadores encerrados en una determinada corriente insistieron en argumentos parciales para sustentar sus puntos de vista, hipertrofiando uno de los mencionados aspectos del carbón y olvidando que este último integra un sistema en el que sus diversos factores siempre operan en función del todo. En verdad no hay discrepancias entre los puntos de vista químico, físico y petrográfico: estos tres puntos de vista se complementan. La expresión más amplia sobre un carbón normalmente coquizante, entonces, de acuerdo a lo dicho, sería: un carbón con un cierto tenor en bitumen húmico, con determinado tamaño y cantidad de poros, y libre de cierto porcentaje de elementos petrográficos inertes.

#### IV. — *Conclusión:*

1º — La bituminización, vale decir, el proceso de formación de bitúmenes en el carbón, se realiza a partir de:

- a) Los ácidos húmicos y huminas: bitúmenes húmicos.
- b) Los contenidos resínicos-céreos (y sapropel): bitúmenes liptobiolíticos.

2º — Los bitúmenes húmicos son los compuestos del carbón que condicionan sus propiedades coquizantes.

3º — Dichas propiedades coquizantes a su vez dependen de otros factores (físicos y petrográficos) del carbón.

D. — BITÚMENES DEL CARBÓN DE RÍO TURBIO: A continuación, y luego de una ligera reseña sobre los tipos fundamentales de carbones que integran la reserva carbonífera nacional, trataré en grandes trazos las características del carbón de Río Turbio, especialmente desde el punto de vista de su contenido bituminoso, a los efectos de inferir algunas conclusiones en lo que se refiere a su posible participación en la industria convencional del coque. Lo lógico sería tratar un tema de tanto interés retomando los aspectos físicos, químicos y petrográficos del carbón de Río Turbio. Pero como a la fecha se puede decir que sobre el mismo sólo se poseen datos químicos, es que encaro el asunto desde el punto de vista de la bituminización. Con todo, como sabemos que los bitúmenes húmicos son componentes del carbón que condicionan las propiedades coquizantes, la presencia o no de tales bitúmenes constituye un índice significativo que permite ciertas estimaciones al respecto.

I. — *Generalidades sobre la reserva carbonífera nacional:* Los estudios geológicos, practicados en su casi totalidad por Y. C. F., a la fecha han posibilitado la cubicación global de unos 415.000.000 de toneladas de carbón bruto del país. Esta reserva, en términos amplios, responde a los siguientes tipos fundamentales de carbones:

|                             |                            |
|-----------------------------|----------------------------|
| Hullas .....                | 0,90 % de la reserva total |
| Carbones de transición .... | 98,80 " " " " "            |
| Lignitos .....              | 0,30 " " " " "             |

— Los carbones de transición normalmente corresponden a los lignitos duros o brillantes, que en general son equivalentes a los carbones subbituminosos de la clasificación A. S. T. M. Pero por falta de datos que permitan una discriminación concreta, con carácter provisorio he incluido dentro de este rango a todos aquellos carbones que además de ser lignitos duros, dentro de una misma cuenca, se presentan con rasgos definidos de hullas y lignitos a la vez, como es el caso del carbón de la cuenca de Río Turbio.

La reserva hullera nacional corresponde en su mayor parte a depósitos neopaleozoicos y triásicos de San Juan-La Rioja-Norte de Mendoza, y a la cuenca eógena nordpatagónica de Pico Quemado-Newbery, cerca de Bariloche, afectada por un termometamorfismo de interesantes proyecciones regionales. Los carbones de transición en su gran mayoría pertenecen a

los sedimentos infraterciarios patagónicos, a los que corresponden también la mayor parte de los lignitos que quizás deban parcialmente asimilarse a la categoría anterior. En el plano de la Fig. 6, se han esquematizado los distintos ambientes del país al momento definidos, con los tipos de carbones mencionados.

Dentro del cuadro general expuesto, es evidente que la cuenca de Río Turbio, con su cubicación global del orden de los 400.000.000 de toneladas de mineral bruto, representa a la fecha la casi totalidad de la reserva carbonífera nacional. Aclaro que me refiero a valores de carbón cubicado en sus distintos grados de aproximación, y no a estimaciones sobre posibles reservas basadas en la continuidad de formaciones productivas. En este sentido es correcto suponer que las investigaciones de subsuelo puedan evidenciar acumulaciones interesantes en cantidad y calidad en varias regiones con perspectivas geológicas, como ser en ambientes homólogos y adyacentes a la cuenca de Río Turbio, (hacia el Atlántico y en Tierra del Fuego), en el ámbito precordillerano de Catamarca, La Rioja, San Juan, Mendoza, con proyección hacia el sur de la Provincia de Buenos Aires, en la gran cuenca gondwánica-paranaense con carbón comprobado en la Provincia de Córdoba y en Brasil, etc.

Las hullas nuestras en su mayoría van desde los carbones de llama o flambantes a los carbones grasos propiamente dichos o de coque. Son bien huminizadas, pero en parte con abundante estéril y/o carbón inerte. Convenientemente depuradas suelen acusar propiedades coquizantes interesantes.

Los lignitos carecen de interés para los procesos clásicos de coquización, no así los carbones de transición que, con la cuenca de Río Turbio, representan, como se dijo, la casi totalidad de la reserva carbonífera nacional.

Por lo expuesto es indudable que si se desea cimentar una industria siderúrgica nacional, para abastecer o contribuir al abastecimiento de la industria del coque, se deberá, dentro de la tarea exploratoria, ahondar las investigaciones particularmente en los sectores hulleros, y se tendrá que tratar de derivar, dentro del campo tecnológico, los carbones intermedios a materia prima aprovechable para los procesos pertinentes. Paralelamente cabría considerar los trabajos tendientes a aumentar la reserva ferrífera del país.

II. — *Rasgos constitutivos del carbón de Río Turbio*: El carbón de Río Turbio se distribuye en cuatro mantos principales denominados de arriba a abajo como Dorotea, "A", Su-

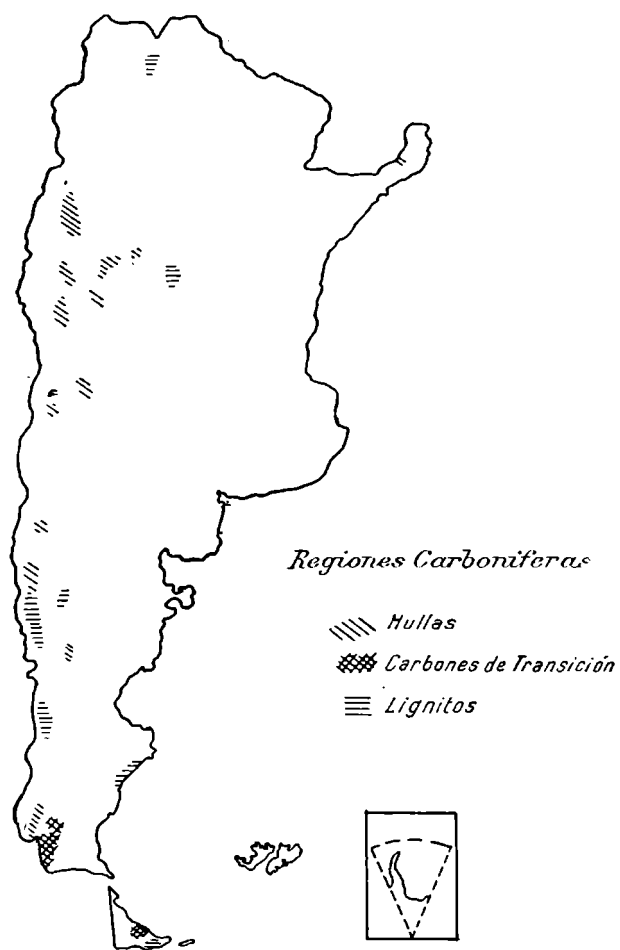
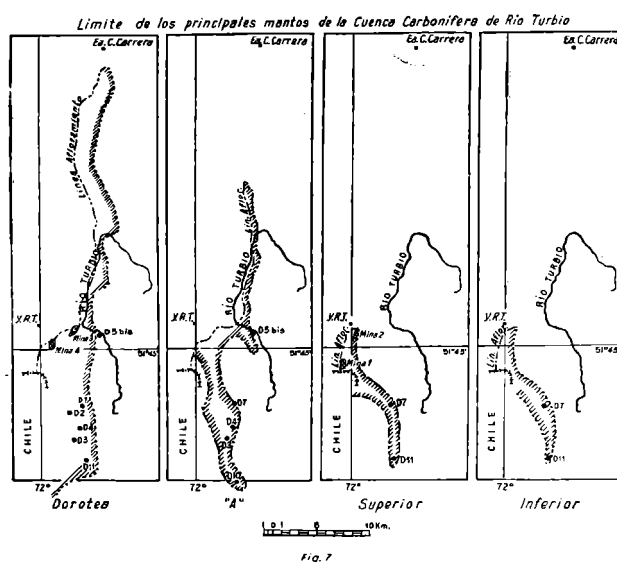


Fig. 6

rior e Inferior. Estos mantos, tal como fuera divulgado por Hünicken (1955), y Borrello (1956), son de extensiones diferentes y espesores variables, configurando en conjunto una cuenca sedimentaria parállica de unos 50 km de largo en sentido N-S y de un ancho que en partes alcanza al orden de los 8 km. En la Fig. 7 se esquematiza la extensión al momento conocida de cada uno de los mencionados lechos de carbón. (Borrello, 1956) (Hünicken, 1955).



Corrientemente, de una manera complexiva, al carbón de Río Turbio se lo clasifica como un carbón sub-bituminoso clase A (s/A. S. T. M.), vale decir, como un carbón de transición en el límite con las hullas. En la literatura geológica (Borrello, 1956; Hünicken, M., 1955), ocasionalmente se han mencionado dentro de la cuenca casos de carbón bituminoso, o sea hulla, según la misma clasificación.

Los conocimientos que al momento se tienen sobre el carbón de la cuenca de Río Turbio se basan en análisis químicos practicados principalmente en los sectores de las minas 1, 2, 3, 4 y sobre algunos testigos de condeos, y en ciertas observaciones perográficas muy localizadas (Bergmann, 1956). El mayor volumen de datos procede de las mencionadas minas

que, como puede apreciarse en la Fig. 7, corresponden a un limitado sector de la cuenca. No obstante lo exiguo de nuestros conocimientos, es posible inferir algunos rasgos interesantes sobre el mineral del Turbio en lo que atañe a su contenido bituminoso, y por lo tanto adelantar alguna idea sobre sus perspectivas de participación en los procesos de coquización.

Al respecto voy a citar un hecho significativo. En la parte austral de la cuenca, con motivo de un estudio palinológico (Bergmann, 1957), se realizaron análisis químicos de testigos de los pozos D.2, D. 3, D. 4, D 5 (bis), D. 7, D. 10 y D. 11 (ver Fig. 7), correspondientes a los mantos Dorotea y "A", distantes verticalmente escasos metros uno de otro, y siempre

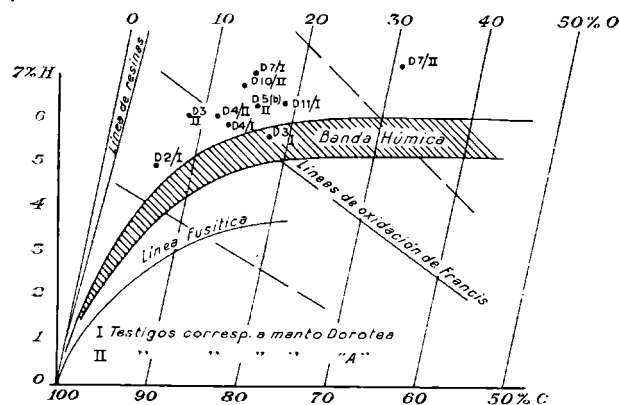


Fig. 8

dentro de un paquete sedimentario que no acusa cambios en lo que a condiciones geológicas se refiere. De dichos análisis resalta una fluctuación relativamente amplia entre las proporciones en CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub> como se indica en el diagrama de la Fi. 8.

En estas fluctuaciones poco deben haber influido los efectos metamórficos, vale decir, los cambios motivados por variaciones en la presión y temperatura que soportaron los mantos, pues las geoisotermas, como los geoisobaras, fueron en el sector de los pozos bastante equivalentes como lo evidencia el examen de tendencias de volátiles-carbón fijo de los análisis sumarios. Por consiguiente, la causa de esos cambios se debe atribuir a diferencias en los materiales de partida, o sea, en la

materia vegetal, y en el estadio de destrucción bioquímica de las turberas primitivas. Particularmente dentro de este último fenómeno, el nivel de las aguas impregnantes y su desigual circulación deben haber jugado un rol de mucha importancia en los cambios faciales del carbón del Turbio. Los turbales que formaron los lechos de carbón estuvieron desigualmente cubiertos o impregnados por las aguas, y por consiguiente las condiciones para la destrucción microbiana fueron diferentes, actuando ya las bacterias aerobias, ya las anaerobias según que los materiales estuvieran más o menos en contacto o aislados del oxígeno del aire. Además, en ciertas áreas con circulación de las aguas, dicha circulación favoreció la actividad bacteriana anaerobia disminuyendo el grado de toxicidad ambiental, favoreciendo con ello el desarrollo microbiano con un consiguiente enriquecimiento en material liptobiolítico. Como consecuencia de esta destrucción heterogénea, debieron variar los productos residuales sobre los cuales se elaboró ulteriormente el carbón.

Por otro lado, de los datos analíticos elementales mencionados resalta un alto tenor en H, lo que indica un elevado contenido en materiales resínicos-céreos con su bitumen liptobiolítico correspondiente. Esto ha sido comprobado por medio de maceraciones (Bergmann, 1957), en las que se logró identificar restos de esporos y pólenes en concordancia al respecto. Tal contenido resínico-céreo, induce a admitir:

- a) Que el análisis sumario (BERGMANN, 1957) no se puede considerar un índice satisfactorio para estimar el estado metamórfico, o restrictivamente el grado de incarbonación de estos carbones, ya que el porcentaje en materias volátiles muchas veces será superior al que corresponde a la parte húmica que es la que debe tenerse en cuenta a tal fin.
- b) Dicha fracción húmica en general debe tener, entonces, un mayor rango o categoría que el que comúnmente se puede inferir en base a los análisis sumarios. Esto lo he podido comprobar (Bergmann, 1956) en estudios que practicara en Alemania sobre muestras del manto Dorotea de Mina 3: mientras que el análisis me indicaba un carbón lignitoso, el estudio de reflexión de vitritas libres de resina, o sea, de substancias húmicas puras, me indicaba una hulla de llama larga.

Quiere decir, que no es aventurado suponer que el carbón de Río Turbio sea esencialmente de base húmica, vale decir, que su masa fundamental sea una hulla con su bitumen húmi-

co correspondiente y con propiedades coquizantes mejores que las que corrientemente se señalan para el carbón global. Este mátrix fundamental, en las mencionadas muestras de la Mina 3 incluía:

- a) Esporos, pólenes y cutículas vegetales.
- b) Material resínico infigurado o difuso en vitritas.
- c) Macerales inactivos: semifusinita, fusinita, esclerotinita y micrinita.
- d) Inertes: arcilla, cuarzo, piritas, calcita.

III. — *Significado de los cambios de facies*: Por lo dicho precedentemente se infiere que, desde el punto de vista químico-petrográfico, existen cambios laterales de facies dentro de los mantos de carbón de la cuenca de Río Turbio. Aunque al momento desconocemos el alcance de dichos cambios, es dable suponer la posibilidad de localizar, en los distintos lechos de carbón, sectores relativamente pobres en contenido resínico-céreo, que es el que coincide negativamente, en mayor grado, en las propiedades coquizantes de este combustible; vale decir, que cabría la posibilidad de localizar en la cuenca carbones con propiedades para la coquización mejores que las que al momento conocemos. Viene a corroborar esto, por ejemplo, un análisis sumario practicado en una porción de testigo del pozo D. 11 (Fig. 7), correspondiente al manto Inferior, el que arrojó valores de 25,8 % de materias volátiles (s/s, s/c), indicando un carbón de coque dentro de un conjunto con características similares a las adelantadas en general para el mineral del Turbio.

Además, cabe esperar que en nuestra cuenta se cumpla la regla de Hilt, o sea un metamorfismo regional de las capas de carbón, con un consiguiente aumento en categoría de la masa fundamental en relación con la profundidad, y un correspondiente enriquecimiento en bitumen húmico que acentúe las propiedades coquizantes.

Con lo dicho no quiero significar que en la cuenca de Río Turbio puedan delimitarse reservas económicas de verdaderos carbones de coque, ello sería esperar demasiado de este tipo de mineral. Pero lo que sí es factible, es que se logre dentro de la cuenca circunscribir carbones que por mejorar sus propiedades coquizantes, puedan contribuir en mayores proporciones en pastas de mezcla con carbones aglutinantes. Se sobreentiende que el aprovechamiento de tales carbones quedaría supeditado a la faz minera, de preparación, etc., de los mismos.

De lo expuesto, resulta evidente que para definir la cuenca

de Río Turbio en lo que se refiere a su participación en la industria del coque, se impone:

- a) Un estudio físico, químico y petrográfico de carácter sistemático para determinar sus tipos de carbones.
- b) La realización de los ensayos necesarios, de acuerdo a dichos tipos de carbones, para comprobar las aptitudes de aplicación del mineral tanto en los métodos clásicos como especiales de coquización.

En verdad, una tarea de tal magnitud debería ser proyectada a otros aspectos tecnológicos para arribar a una verdadera evaluación de la cuenca y orientar su explotación de acuerdo a más amplias posibilidades de mercado. Tales estudios evidentemente son básicos para poder concretar inversiones de volumen.

#### IV. — *Conclusión:*

1º — La cuenca de Río Turbio al momento se puede decir que está integrada por carbones de transición, en su mayor parte presumiblemente de base húmica que responde a un metamorfismo normal.

2º — A tal base se agregan componentes, especialmente resínicos-céreos, que desmejoran sus propiedades coquizantes.

3º — En razón de que dichos componentes varían cuantitativamente en los lechos carbonosos, y que cabe esperarse modificaciones metamórficas de carácter regional del mátrix del mineral, se estima posible llegar a localizar dentro de la cuenca carbones con aptitudes coquizantes mejores que las que comúnmente se admiten para este mineral, con vistas principalmente a su incorporación en pastas de mezcla para coquización.

E. — RESUMEN Y CONCLUSIÓN: En el presente trabajo se ha tratado en líneas generales las ideas que actualmente se admiten en lo referente al proceso de bituminización, que es parte del fenómeno natural de incarbonación o, en sentido más amplio, del metamorfismo de los carbones.

Los materiales de partida de los carbones húmicos sufrieron diferentes transformaciones de acuerdo a su composición: los azúcares, proteínas y celulosa se destruyeron en gran parte durante el estadio de turba, con un consiguiente enriquecimiento en lignina que, a su vez, se transformó en diferentes ácidos húmicos y huminas. Como consecuencia del proceso de formación de estas huminas se originaron los bitúmenes húmicos que tapizan la periferia de las micelas que integran las

hullas y antracitas. Dichos bitúmenes condicionan las denominadas propiedades coquizantes del carbón, pero regidas por otros factores de orden físico y petrográfico.

Conjuntamente con los mencionados bitúmenes, en los carbones húmicos corrientes existen otros, genéticamente ligados a los restos vegetales primitivos que primordialmente sufrieron un proceso molecular de polimerización. Estos bitúmenes denominados liptobiolíticos, a diferencia de los anteriores, se manifiestan negativos en lo que a propiedades coquizantes se refiere.

En el mineral del Turbio cabe admitir, con altas probabilidades de certeza, que coexisten ambos bitúmenes en proporciones desiguales por motivos genéticos primarios, en razón de lo cual se estima posible la localización, dentro de la cuenca, de carbones con aptitudes coquizantes superiores a las que al momento se conocen para dicho mineral.

*La Plata, julio de 1960.*

# OBRAS CITADAS EN EL TEXTO

- ADGE-SCHÜRENBERG-JODL (1943). — *Brennstoff-Chemie*. XXIV, 7-8, Essen.
- BANCHAN-FRANKLIN-HIRST-MAGGS (1949) — *A structural model for coal substance*. Fuel. XXVIII. London.
- BERGMANN, F. A. J. (1956) — *Estudio petrográfico con luz incidente del carbón de Río Turbio, Manto Dorotea*. Rev. Minerva. XII, 1. Buenos Aires.
- BERGMANN, F. A. J. (1957) — *Ensayo de correlación palinográfica practicado sobre muestras de carbón provenientes de los pozos D. 2, D. 3, D. 4, D. 5 (bis), D. 7, D. 10 y D. 11 del Yacimiento Río Turbio*. Y. C. F. (Inf. inéd.). Buenos Aires.
- BERGMANN, F. A. J. (1957) — *Correlación estratigráfica desde el punto de vista palinológico de los horizontes carbonosos inferiores atravesados por los pozos D. 2, D. 3, D. 4, D. 7 y D. 11 del Yacimiento Río Turbio*. Y. C. F. (Inf. inéd.). Buenos Aires.
- BERKOWITZ, N. (1949) — *A phisical approach to the theory of coking*. Fuel. XXVIII. London.
- BORRELLO, A. V. (1956) — *Recursos minerales de la República Argentina. III. Combustibles Sólidos Minerales*. Rev. del Ins. Nac. de Inv. de las C. Naturales. V. Buenos Aires.
- FREUND, H. (1935) — *Die Chemie der Kohle*. Berlin.
- HÜNIKEN, M. (1955) — *Depósitos neocretácicos y terciario del extremo SSW de Santa Cruz (cuenca carbonífera de Río Turbio)*. RRev. del Inst. Nac. de Inv. de las C. Naturales. IV, 1. Buenos Aires.
- KREULEN, D. J. W. (1935) — *Grundzüge der Chemie und Systematik der Kohlen*. Amsterdam.
- LEENDERSTE-WATERMANN-TAMEDA-SMITTENBERG-VIUTGER-VON WESTEN-VON NES (1953) — *Strukturgruppen analyse von Erdölfraktion nach n-d-M-Methode*. Erdöl u. Kohle. VI. Hamburg.
- SEDLITZKY-KUNOWSKY (1936) — *Brennstoff-Chemie*. XVII, 30. össen.
- STADNIKOFF, G. (1931) — *Die Chemie der Kohle*. Stuttgart.
- VAN KREVELEN, W. (1953) — *Physikalische Eigenschaften und Chemische Struktur der Steinkohle*. Brennstoff-Chemie. XXXIV.