

338,774
B449
EJ.1

2971

XXV CURSO LATINOAMERICANO DE
ECONOMIA Y PLANIFICACION ENERGETICA

322

ECONOMIA DEL CARBON MINERAL

Dr. Federico Bergman

El presente trabajo tiene el propósito de adelantar una síntesis actualizada de la actividad carbonífera mundial, reparando en los aspectos básicos que directa o indirectamente definen su perfil industrial.

Con el propósito de ilustrar sobre el tema en lo que respecta a nuestra región, finalmente se agregan informaciones y consideraciones atinentes a la situación del carbón en Latinoamérica.

Este documento ha sido parcialmente financiado con el aporte de la Unión Europea.

San Carlos de Bariloche
- 1995 -

Idee

Instituto de Economía Energética

FB

Asociado a Fundación Bariloche

1.1/12/15

EL CARBÓN MINERAL EN EL MUNDO

A los efectos de introducir en el tema, se comenzará por comentar algunas generalidades sobre el carbón, para desembocar en una apreciación histórica y estimación prospectiva de su desarrollo industrial.

GENERALIDADES

En lo que sigue, se proporcionarán algunos conceptos básicos referentes a la formación, transformación, constitución y distribución geológica del carbón.

Origen del carbón

La mayor parte del carbón se ha formado a partir de restos vegetales ricos en celulosa y lignina.

Estos restos se acumularon en depresiones del relieve, dentro del continente o a orilla del mar, impregnados o cubiertos por agua que frenó la descomposición bacteriana. Las acumulaciones interiores, generalmente en lagunas, formaron los depósitos denominados límnicos, mientras que las acumulaciones costeras, en charcas, albúferas y otras contenciones naturales, formaron los yacimientos denominados parálidos, que típicamente engranan y alternan con sedimentos marinos.

El estado inicial de transformación de la materia vegetal lo constituye la turba. En ésta ya han desaparecido los azúcares y proteínas, conservándose bastante celulosa y casi toda la lignina. Forma una masa esponjosa en la que se puede reconocer perfectamente bien las estructuras vegetales, acusando "in situ", es decir en el yacimiento, un alto contenido de agua o humedad que puede llegar hasta el 90%.

Los depósitos de turba se encuentran prácticamente a ras del suelo, pero con el correr del tiempo los mismos a veces son recubiertos con espesas capas de sedimentos que pueden alcanzar centenas y aún miles de metros de espesor, produciendo fuerte presión y aumento de temperatura, en razón de que la temperatura de la Tierra en promedio aumenta 1° C por cada 33 m de profundidad (gradiente geotérmico).

Como consecuencia, con el correr del tiempo se produce una profunda deshidratación, desaparece por descomposición la celulosa y la lignina se transforma en ácidos húmicos y derivados. La materia de origen vegetal aparece compactada, adquiriendo un color pardo negruzco. Este combustible es el lignito.

Ulteriormente, siempre por efecto sumado de la presión, temperatura y tiempo, la substancia lignítica va sufriendo un profundo cambio.

A la presión vertical del peso muerto de los terrenos, se suelen sumar presiones horizontales (tectónicas), que pliegan (arrugan) y fracturan dichos terrenos. Consecuentemente, en la masa orgánica se produce una progresiva concentración de carbono (C), a costa de una pérdida equivalente de oxígeno (O) e hidrógeno (H), transformándose los ácidos húmicos en huminas, cada vez más aromatzadas y estratificadas. Este proceso es el que va generando los carbones bituminosos o hullas, representando el carbón subbituminoso la transición entre el lignito y los carbones bituminosos.

La última etapa de transformación corresponde a la antracita, en la que no sólo se ha incrementado el contenido en carbono (C), sino también la consistencia de las estructuras aromáticas por la generación de uniones de valencia entre los átomos del elemento mencionado precedentemente.

Este largo proceso de transformación de la primitiva materia vegetal puede insumir unos 300 millones de años, pero eventualmente dicho proceso podría

continuar, rematando en el grafito, que es una sustancia netamente cristalina con 100% de carbono (C), alojada en terrenos muy antiguos (precámbricos) que por lo menos suelen duplicar en edad el tiempo indicado.

Los carbones mencionados se denominan húmicos o bandeados, y constituyen la casi totalidad de los carbones comerciales. Existen otros carbones denominados sapropélicos o masivos provenientes de la transformación de plantas acuáticas, como algas, o de restos muy resistentes de vegetales superiores (lip-tobiolitos). En estos carbones se produce una polimerización del material orgánico, recibiendo sus productos las nominaciones de balchaschita - coorongita, gagat y boghead. Los carbones húmicos suelen tener alguna fracción sapropélica, que no modifica su naturaleza.

Clasificaciones del carbón

Existen numerosas clasificaciones del carbón. Generalmente cada país o región carbonera tiene su propia clasificación. Los factores que se tienen en cuenta para clasificar el carbón son la composición química, las características físicas y la constitución petrográfica.

Clasificaciones químicas y físicas

La primera clasificación satisfactoria del carbón data de 1837 (Regnault), y toma en cuenta el contenido en carbono, hidrógeno, materias volátiles y poder calorífico.

En 1900, Seyler en Inglaterra propuso un complejo diagrama de clasificación basado en el contenido en carbono e hidrógeno, representando los análisis conocidos en coordenadas rectangulares sobre la base de carbón supuestamente puro. En consecuencia queda delimitada una banda correspondiente a los carbones típicos. Los carbones perhidrogenados y subhidrogenados se hallan ubicados por encima y por debajo de la banda, respectivamente.

El diagrama incluye ejes secundarios para representar el poder calorífico y las materias volátiles, así como también una indicación de las características aglutinantes.

Corrientemente, las clasificaciones que se aplican son más simples como la clasificación por rangos ASTM de los Estados Unidos de Norteamérica o la Fuel Research Board/NCB de Inglaterra. La primera, que es la que se suele aplicar también en Latinoamérica y en Argentina, sólo considera las materias volátiles, el poder calorífico y subordinariamente el poder de aglutinación (Ver Anexo I).

En 1956 el Comité del Carbón de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas, propuso una Clasificación Internacional de Carbones, que en la práctica no ha tenido la aceptación que se esperaba. En esta clasificación cada tipo de carbón se identifica con un número de tres dígitos (por ejemplo: 521). Conforme a una clave, el primer número indica la clase de carbón determinada por el tenor de materias volátiles para carbones con un contenido de hasta el 33% de dichas materias, y por el poder calorífico húmedo y sin cenizas para un porcentaje mayor. El segundo número corresponde al grupo dentro de la clase, según el poder de aglutinación. Finalmente el tercer número señala el subgrupo dentro del grupo, conforme al poder de coquización.

Clasificaciones petrográficas

Estas clasificaciones revisten particular utilidad para la investigación científica y tecnológica del carbón. A veces se las aplica para operaciones comerciales, por ejemplo para saber si una partida de carbón que se acopia para hacer coque corresponde a un sólo tipo de carbón o a una íntima mezcla de dos o más tipos de carbones. En ambas alternativas el análisis químico puede ser coincidente, resultando muy útil la petrografía para definir la real constitución de la partida.

Las clasificaciones petrográficas se fundamentan en el concepto cierto de que el carbón es un cuerpo heterogéneo constituido por rocas, como el granito, a su vez integradas por unidades equivalentes a los minerales que en este caso se denominan macerales y fiterales, según el grado de evolución que evidencia la masa de constitución.

Los componentes mayores reconocibles macroscópicamente, son los siguientes:

- a) vitrita: pasta brillante y homogénea;
- b) clarita: pasta semi-brillante con comienzo de estratificación y presencia de cuerpos figurados;
- c) durita: materia mate estratificada, muy rica en cuerpos figurados;
- d) fusita: materia negra, pulverulenta y fibrosa.

Dichos componentes, conforme participen en su constitución las unidades microscópicas menores, tienen distintas aptitudes de aplicación, que las transfieren a su vez al carbón como agregado final. Los análisis petrográficos, que se realizan con microscopios especiales, son una valiosa ayuda al respecto. También sirven para otros fines, como para correlacionar mantos de carbón en una cuenca sedimentaria.

Distribución del carbón

De acuerdo a lo dicho con respecto al origen del carbón, se infiere que este combustible se formó desde que reinó vida vegetal, más o menos organizada, sobre el planeta. Así por ejemplo, en el antiquísimo Basamento Cristalino de Carrelia existen restos de shungitas compuestas por 99% de carbono, es decir por substancias que se hallan en el límite del grafito.

Como la vida vegetal jamás se ha interrumpido, va de suyo que la formación del carbón resulta un fenómeno constante. Dentro de este marco, hubo momentos en que la abundancia de la flora y las condiciones ambientales fueron particularmente propicias para la formación del carbón.

Esos momentos integran verdaderos ciclos de desarrollo bioestratigráfico, que se conocen con la denominación específica de ciclos antragénicos (Ver Anexo 2).

En la historia de la Tierra existieron dos ciclos antragénicos importantes. El más antiguo es el Ciclo Paleoantragénico, con manifestaciones iniciales en el Derónico (Canadá), y extraordinario desarrollo en el Carbonífero y Pérmico del Paleozoico. A estos dos períodos, por la abundancia de carbón complejivamente se los conoce como Antracólítico (antracos = carbón). En esos tiempos se formaron las grandes cuencas carboníferas, especialmente en el hemisferio norte, como la de Pennsylvania (Apalaches) en los Estados Unidos de Norteamérica, la de Gales en Inglaterra, la de Nord-Pas-de-Calais y Lorena en Francia, la del Rhur en Alemania, la del Donetz en Rusia, etc.

Se trata de grandes campos carboníferos, con depositaciones ciclo-parálicas que albergan numerosos mantos de carbón, en conexión con áreas orogenéticas de ambientes geosinclinales. En la cuenca hullera de Nord-Pas-de-Calais, por ejemplo, se han contado hasta 400 ciclos sucesivos, correspondiendo a cada ciclo una inmersión con destrucción de la flora, una sedimentación de terrenos estériles y una reconstrucción de la flora con formación de turberas que a veces originaron carbón. Este fenómeno indica una extraordinaria capacidad de subsidencia, controlada por la evolución de los pertinentes orógenos.

En tiempos cretácicos-terciarios tuvo lugar el Ciclo Neoantragénico, cuya área de distribución se halla preferentemente en torno al Océano Pacífico. Este ciclo fue menos intenso que el anterior. Los campos carboníferos pertinentes son más reducidos en extensión y potencia, atestiguando una menor abundancia de flora y una mayor rigidez de la corteza terrestre.

DESARROLLO DEL CARBON

A continuación se adelantará una reseña sobre el desarrollo industrial del carbón, considerado desde el punto de vista histórico y prospectivo.

Desarrollo histórico

El carbón se ha usado como combustible desde tiempos remotos. Los chinos lo extrajeron y quemaron antes de la Era Cristiana. También los antiguos romanos a veces lo usaron, extrayéndolo con rudimentarias excavaciones por ejemplo en Alemania, sobre las fronteras del Imperio. En el siglo X existieron explotaciones formales para entonces, en Newcastle (Inglaterra) y en Lieja (Bélgica).

Dentro de Inglaterra, en el siglo XIV, comenzó a escasear la leña a causa de su fuerte consumo, y de la brutal quemazón de bosques a fin de incrementar los campos de pastoreo para el ganado lanar. Como consecuencia aumentó el uso del carbón mineral, de tal manera que las autoridades londinenses empezaron a imponer restricciones a su empleo por los densos humos que contaminaban la ciudad. Pero, por imperio de la necesidad, dichas autoridades el año 1620 oficialmente admitieron el uso ilimitado del carbón. Esta fecha marcó el arranque del desarrollo industrial del carbón, toda vez que para fines de ese siglo XVII Inglaterra ya producía 3.000.000 de toneladas de carbón por año, valor realmente enorme para la época.

Las explotaciones de entonces eran primitivas (artesanales), y se circunscribían prácticamente a los afloramientos del carbón en la superficie. Para extraer mayor cantidad de carbón de profundidad, se tropezaba con el problema de la inundación por aguas infiltradas desde la superficie, o alimentadas por napas acuíferas. Este siempre fué un problema inherente a casi todas las minas

de carbón, que con los medios modernos se supera fácilmente posibilitando sacar hasta 10 veces el peso en agua, el peso del carbón extraído (Lorena).

Esta situación que en su momento parecía insuperable, comenzó a tener solución en el siglo XVIII con un hecho trascendental, la invención y puesta a punto de la máquina de vapor de doble efecto (Watt, 1785). Este invento permitió accionar bombas para el desagote de minas en profundidad, y al mismo tiempo se transformó en el gran mercado del propio carbón, estableciéndose una simbiosis carbón-vapor que revolucionó el mundo económico-social de entonces. Las industrias que usaban el vapor como fuerza motriz (textil, metalúrgica, del papel, de los colorantes, etc.) comenzaron a multiplicarse, emplazándose sobre las cuencas hulleras y sus cercanías.

Las aplicaciones del carbón, por su parte, comenzaron a diversificarse. En 1735, Abraham Darby elaboró con hulla el primer coque, que lo usó para preparar fundición de hierro a partir del mineral. Con ello se abrió el gran campo de aplicación del carbón en la siderurgia, a su vez fuertemente impulsada por los inventos de Bessemer (1855) y Siemens-Martin (1865) para elaboración de acero. Ligado a ello comenzó la utilización de los subproductos de destilación, incluido el gas, que fué por primera vez usado en Francia por Lebon (1803) para iluminar el famoso Hotel Seignelay (gas de alumbrado).

A comienzos del siglo pasado, en 1812, atravesó el Océano Atlántico el primer navío impulsado a vapor generado con carbón. Este medio fué progresivamente reemplazado a la vela que, para travesías comerciales, terminó prácticamente por desaparecer durante la Primera Guerra Mundial. En 1829, Georges Stephenson condujo entre Liverpool y Manchester la primera locomotora accionada a carbón.

En otro campo de actividad, con la fabricación de la primera pila eléctrica (Volta, 1795), la construcción de la lámpara de arco (Davy, 1801), el descubrimiento de la inducción (Faraday, 1831), la invención del magneto (Clarke,

1833), del dínamo (Gramme, 1871) y de la lámpara de filamento (Edison, 1878), se fueron abriendo interesantes posibilidades de aplicación para el carbón-vapor que comenzaron a concretarse desde el momento en que se instalara, en 1882, la primera red de distribución eléctrica en la ciudad de Nueva York.

Así es como el carbón fué llenando el escenario socio-económico del Siglo XIX, ubicándose en la base de los dos fenómenos más típicos de la civilización moderna, el capitalismo y las grandes concentraciones obreras. El control de las fuentes de carbón llegó a ser indiscutible medio de poder político-industrial entre las naciones, y expresión de dominio de la poderosa burguesía, cuyos nombres a veces aún persisten en viejas labores mineras.

Dentro de este cuadro de plétora, con producciones que se duplicaban cada quince o veinte años, el liderazgo de la industria del carbón fué ejercido de pleno por Inglaterra. Sus explotaciones ubicadas en la cercanía de buenos puertos, alimentaban exportaciones masivas que se extendían por todo el mundo.

Esta situación se mantuvo hasta casi la Primera Guerra Mundial (1914-1918), cerrándose para entonces un largo ciclo de desarrollo (Ver Anexo 3). Desde 1913 se rompió el ritmo secular de expansión industrial. La curva mundial de producción-consumo tendió a horizontalizarse, acusando profundas y constantes fluctuaciones. Este lapso integra un segundo ciclo de desarrollo, que a nivel mundial perduró hasta 1949, y que fué el más crítico que ha vivido la industria del carbón. En esta nueva situación, incidieron los siguientes factores:

- a) Dos Guerras Mundiales (1914-1918; 1939-1945) que destruyeron o paralizaron numerosas minas, y el estallido de una fuerte crisis en 1929 que deprimió la economía mundial.
- b) Mayores rendimientos de utilización por avances tecnológicos, lo que equivalió a menores consumos de carbón para un mismo efecto. Mientras que en 1910, por ejemplo, hacían falta 10.000 Kcal/Kg para producir 1 KWh, en 1945 se ne

cesitaban sólo 5.000 Kcal/Kg para generar la misma cantidad de electricidad (actualmente se necesitan unas 2.300 Kcal/Kg).

- c) Competencia del fuel-oil y otros residuos de destilación, como consecuencia del sostenido desarrollo de la industria petrolera, desde que el célebre Coronel Drake en 1850 perforara por primera vez en Pennsylvania a fin de obtener petróleo para aceites de lámparas. Este desarrollo fué fuertemente estimulado, dentro de este siglo por la difusión de los motores de combustión interna.

La estructura del mercado carbonero, lógicamente fue cambiando, concentrándose en las utilidades en las que el carbón resultaba más competitivo o insustituible, a saber:

- a) Usinas termoeléctricas
- b) Coquerías
- c) Briquetterías.

Este fenómeno ha sido bien analizado, conociéndoselo en la literatura como "especialización del carbón".

Como consecuencia de la situación comentada se produjeron en las hulleras ríspidas convulsiones sociales, con grandes huelgas como las de 1921 y 1926. En Inglaterra, donde la virulencia llegó a niveles máximos, en 1938 se suprimió el Coal Bill, pasando al Estado el control del subsuelo. En esta decisión influyó también la situación calamitosa de las minas, de las cuales la mitad tenían una existencia más simbólica que real.

En 1949 se inició un nuevo ciclo de desarrollo del carbón, con características muy peculiares. Mientras que el Bloque Occidental se mantuvo prácticamente estático o con reducidos incrementos (como los Estados Unidos de Norteamérica que después de la Segunda Guerra Mundial reemplazaron a Inglaterra en el lide

razgo carbonero de Occidente), en el Bloque Oriental se registró una fuerte expansión. Rusia en 1940 producía unas 40 millones de toneladas y China Continental en 1950 apenas superaba los 10 millones de toneladas de carbón. Actualmente dichas naciones superan las 500 y 600 millones de toneladas anuales, respectivamente (Ver Anexo 4).

Aproximadamente en 1973, dentro del Bloque Occidental comenzó la reacción. Con motivo de la denominada "crisis de la energía", especialmente en los Estados Unidos de Norteamérica se realizó un profundo replanteo de estrategia en el campo energético, con una decidida "vuelta al carbón". Como consecuencia, a pesar de la inercia propia de la industria y de coyunturas económicas poco favorables, la curva mundial de producción-consumo siguió ascendiendo, hallándose ya en el orden de las 3.500.000.000 de toneladas anuales (referidas a carbón de 7.000 Kcal/Kg).

Desarrollo prospectivo

La mencionada "crisis de la energía" fué la manifestación de un fenómeno económico-político, a través de una insólita suba del petróleo en el plano mundial. En verdad dicho fenómeno fue el resultado de un largo y complejo proceso, que arrancó en 1947 con el aumento del costo de las localizaciones de petróleo dentro del área de los Estados Unidos de Norteamérica y siguió con varios eventos, como el del Canal de Suez (1957), que en su momento produjo un sobredimensionamiento de la industria petrolera con un exceso virtual de producción de 200-300 millones de toneladas por año, con sus secuelas principalmente sobre Europa. La desestabilización comenzó a acentuarse en 1969, rematando unos tres o cuatro años después con la "crisis" que conocemos.

Como lo venían previendo los especialistas en economía de la energía, debía producirse un cambio estructural. Prácticamente todos los estados o regiones productivas y consumidoras de energía revisaron sus planes, pasando a cobrar

particular importancia la seguridad de abastecimiento, y con ello la economía de reservas. Las previsiones de carbón a largo plazo en los Estados Unidos de Norteamérica fueron adquiriendo singular relevancia, como se advierte por ejemplo en el modelo adelantado por Cook (Universidad de Texas), a pesar de ser poco favorable para el carbón, por apoyarse substancialmente en la energía nuclear e inclinarse a la larga por una estabilización de consumos (Ver Anexo 5).

La Conferencia Mundial de la Energía, máxima autoridad en el campo energético a nivel mundial, en 1977 en Estambul analizó prolijamente la situación y las nuevas posibilidades en función de los recursos remanentes. Como consecuencia, en proyecciones al año 2020, ha previsto un fuerte incremento de la producción anual de carbón, pasándose de los 2 Gtep actuales (1 Gtep = 10^9 toneladas equivalentes de petróleo; 1 tep = 1,5 tec) a 6,1 Gtep potenciales para ese año, con lo que se compensaría la declinación del petróleo (Ver Anexo 6).

En los nuevos enfoques, al carbón -por sus copiosas existencias- se lo considera el principal recurso que prolongará la vigencia de los combustibles fósiles, en buena parte mediante tecnologías tendientes a favorecer su minería y aplicación. Para la extracción del mineral la tendencia es mecanizar, automatizar y finalmente llegar a las "minas sin hombres", es decir llegar al control total de la explotación desde la superficie como en los campos petroleros. En la combustión se prevé el incremento de la pulverización y de la fluidización, en las que el mineral se comporta como los hidrocarburos. En siderurgia es posible que el uso de gases reductores provenientes del carbón (como si se tratara de una reforma del metano) vaya ganando cada día más terreno. Por último cabría consignar que la elaboración masiva de gas natural sintético (syngas) y de petróleo sintético (synoil) puede constituir el cuadro en que finalmente remate el futuro industrial del carbón.

CARACTERISTICAS TECNICO-ECONOMICAS DE LA ACTIVIDAD MINERA

Las actividades fundamentales de la minería del carbón son la exploración, explotación y depuración. A continuación se tratan dichas actividades, considerando las pertinentes tecnologías convencionales y no convencionales con sus tendencias de desarrollo.

EXPLORACION

La exploración constituye la primera etapa a cubrir para encarar el desarrollo minero del carbón. Es una tarea compleja, en la que intervienen profesionales de diversas extracciones.

Hallazgo del carbón

El primer paso obviamente consiste en encontrar carbón. Para ello se practica un análisis geológico regional, examinando prolijamente los antecedentes geológicos, mapas, planos e imágenes de aviones y satélites que hubiere, con el propósito de delimitar áreas en las que presuntivamente podría encontrarse carbón.

Luego se destacan a la región comisiones geológicas volantes o de avanzada para que prospecten las áreas que se calificaron de interés. En las mismas se efectúan reconocimientos geológicos expeditivos consistentes en el examen rápido de los terrenos aflorantes, mapeando los mismos para definir en líneas generales su distribución y estructuras. En este mapeo se presta preferente atención a la formación o formaciones geológicas sedimentarias que muestren señas de carbón o simples vestigios de substancia orgánica.

Esas señas o vestigios suelen aparecer mezclados con arcillas deslizadas en los faldeos. Para ubicar el carbón se practican labores de destape, generalmente consistentes en zanjados y socavones. Ubicado el carbón, preferentemente en distintos puntos, se perfila y toma muestras, que convenientemente con dicionadas se remiten a laboratorio para su análisis.

Estudio del yacimiento

Si los resultados del reconocimiento geológico y de las determinaciones de laboratorio son promisorios se procede al estudio del yacimiento. Para ello se confecciona la base cartográfica adecuada a la escala de operación, mediante levantamientos aéreos o terrestres destacando comisiones topográficas al lugar.

Subsecuentemente se envían comisiones geológicas para que efectúen los levanta mientos geológicos, con los detalles estratigráficos y estructurales necesarios. Con estos levantamientos, nivelación de bancos y datos de afloramientos, se calcula la línea virtual de afloramiento del carbón -en caso de que la hu biere- y se practica la apertura, perfilaje y muestreo de la misma mediante la boreos convenientemente distanciados.

Ulteriormente se encara el estudio de subsuelo, para lo cual se practican los trabajos que se mencionan a continuación.

Laboreos mineros

Según las condiciones del yacimiento, a veces se practican penetraciones en el manto de carbón, para observar su comportamiento en profundidad. Se trata de la boreos económicos, que eventualmente se los puede utilizar en la fase de explo tación.

Perforaciones

Se programa y ejecuta una red de perforaciones o sondeos, que se ajusta según los resultados que se van obteniendo, a los efectos de conseguir muestras profundas para su examen en superficie.

Para la tarea corrientemente se suelen utilizar equipos rotativos, del tipo que usa la industria petrolera en gran escala, pero de capacidad menor, que no suele superar los 1200 m de profundidad.

Dichos equipos constan de un sistema mecánico que mueve una herramienta cortante o trépano, que por rotación (como el taladro de los carpinteros) va perforando los terrenos al extremo de una serie de barras enroscadas de unos 6 m. de longitud cada una, por dentro de las cuales se envía de manera constante y en reciclaje una suspensión de arcilla de agua, que vuelve a subir a la superficie por la luz que queda entre las barras y la pared del pozo. Esta inyección acuosa cumple varias funciones, entre las cuales recordamos la lubricación del trépano, el evitar aprisionamientos en caso de que se corte la inyección, y el arrastre hasta la superficie de las partículas de rocas (cutting).

Estas partículas son recogidas con mallas en la superficie, y sometidas a examen petrográfico, de tal manera que a medida que se perfora el pozo se va confeccionando el perfil geológico de los terrenos que se atraviesan.

A determinadas profundidades se baja el sacatestigo, que es un tubo con una corona cortante que reemplaza al trépano, dentro del cual se van obteniendo cilindros de terrenos atravesados -testigos- que en la superficie se estudian con detalle. Esto se hace especialmente cuando se llega a los mantos de carbón, de acuerdo a los cálculos realizados en base a los datos geológicos de superficie, y a las indicaciones de material de fondo de pozo que va trayendo la inyección. Los testigos de mantos son muestras valiosas que se describen en el lugar de ex

tracción, y luego convenientemente acondicionados son remitidos a laboratorio para su estudio definitivo.

Testificación geofísica

Las perforaciones suelen constituir la fase más cara de un proyecto de exploración, por lo cual es conveniente obtener la máxima información posible de ellas, con resultados fiables que garanticen la inversión. Con tal fin se aplica la testificación geofísica, que consiste en el registro de una serie de parámetros físicos de los terrenos atravesados.

Estos registros se obtienen al introducir en el pozo sondas que van midiendo las respuestas dadas por los distintos terrenos al ser afectados por emisiones eléctricas, radioactivas o sónicas, o que van practicando detectaciones sin ningún tipo de excitación como en el caso de los rayos gamma naturales y el potencial espontáneo.

Para establecer la relación entre las propiedades físicas medidas por las sondas y las propiedades petrofísicas de las rocas, es necesario realizar una serie de sondeos con obtención de testigos, que son analizados en laboratorio para comparar con los parámetros de relación en dicho sondeo, que a su vez serán aplicables a sondeos más próximos, los que pueden ser perforados sin recuperación de testigos lográndose así un importante ahorro en tiempo y dinero.

Los equipos de testificación, corrientemente se hallan instalados sobre un vehículo que los traslada de pozo en pozo. Constan de sondas, cable y unidad de registro. Las sondas son tubos de acero que se bajan en el pozo, en cuyo interior se alojan las fuentes y los detectores encargados de medir los distintos parámetros. El cable, que sirve para introducir las sondas, tiene en su interior conductores encargados de transportar las señales recogidas por los detectores a la unidad de registro que se halla en la superficie. Esta unidad de registro es un sistema

de computación que puede reproducir los datos en forma gráfica (diagraffias), y grabarlos en "cassettes" para su procesamiento, posibilitando definir litologías de terrenos atravesados y características referentes al carbón. Con respecto a esto último, se puede con gran aproximación conocer el espesor del y aún deducir el contenido de cenizas y humedad, el poder calorífico, el tenor en materias volátiles y en azufre.

Sísmica de alta resolución

Esta sísmica constituye un método geofísico que se aplica para resolver problemas estructurales. Substancialmente consiste en generar ondas elásticas en la superficie o cerca de ella, que se propagan reflejándose en capas profundas, para volver a la superficie donde son registradas por receptores especiales (geófonos), que transmiten las señales a una unidad de registro, donde se las procesa para la correspondiente interpretación.

El tiempo que tarda la onda desde su generación hasta su llegada a los receptores permite determinar la profundidad a la cual se hallan las capas reflectantes, previo conocimiento de la velocidad de transmisión de las ondas, la cual se obtiene mediante ensayos especiales.

La determinación de las distintas profundidades en que se encuentran las capas reflectantes permite elaborar un mapa de subsuelo que nos mostrará la estructura profunda con detalle, permitiendo ahorrar costosas inversiones en perforaciones.

La energía elástica de las ondas se puede producir verbigracia con un vibrador hidráulico que se apoya en la superficie (vibroscis), el que genera un tren de ondas de frecuencia controlada sin crear problemas en áreas pobladas y con instalaciones industriales.

La sísmica de alta resolución se puede aplicar cuando existen capas reflectantes adecuadas que permiten operar a relativamente bajas profundidades, con un poder de resolución que resulte de interés a los fines estructurales.

Esta sísmica especial se la aplica particularmente en campos carboníferos europeos, para profundidades del orden digamos de los 600 m. Su alto poder de resolución, permite a veces detectar fallas por ejemplo de 5 m. de rechazo.

Investigación de laboratorio

Los testigos de carbón obtenidos con las perforaciones y las muestras de labores, en laboratorio son sometidos a una serie de determinaciones que permiten definir la calidad y colegir la aptitud del combustible. Generalmente se determinan poderes caloríficos, análisis sumarios, análisis elementales, análisis de ceniza, índice de hinchamiento libre y dilatometría cuando se advierten aptitudes coquizantes de interés siderúrgico.

También según las circunstancias se pueden practicar análisis petrográficos y análisis palinológicos, especialmente para reforzar trabajos de correlación de mantos de una cuenca carbonífera. Los análisis mencionados en segundo término son técnicas de estudios micropaleontológicos del carbón. Los restos orgánicos que se utilizan son esporos y pólenes vegetales, que se obtienen en preparados especiales sobre la base de la maceración del carbón.

De las labores mineras de exploración, se suelen obtener muestras de cierto volumen para ensayos tecnológicos a escala blanco o piloto. Estos ensayos tienen por finalidad definir la aplicación del carbón como combustible o como materia prima.

Estudio de gabinete

El cúmulo de información reunida con los trabajos de campo y de laboratorio, debe ser prolijamente procesada para preparar la documentación que testimonie, con el detalle necesario, las características del yacimiento.

Si el yacimiento es promisorio dicha documentación debe incluir planos estructurales que demuestren la disposición de los mantos, planos de isopacas o isocóricos que testifiquen los espesores reales o virtuales de las capas de carbón y de los terrenos superpuestos, planos de calidades del carbón, perfiles litológicos de detalle especialmente del carbón y su techo, rosas de diaclasas, datos sobre posibles afluencias de agua y gas metano, y otras informaciones necesarias para un programa de explotación.

Evolución del yacimiento

Es la etapa final de la exploración, que suele ser encarada por un equipo multidisciplinario de geólogos, ingenieros y economistas.

Su finalidad es definir la rentabilidad del yacimiento, que surge de la confrontación entre los valores de demanda de mercado y costos de oferta del yacimiento simulado en operación. Se trata de un estudio de factibilidad en el que ambos aspectos deben ser lo suficientemente profundizados como para garantizar un resultado confiable.

EXPLOTACION

En este punto se considerarán los métodos de explotación, indicando sus características básicas y tendencias tecnológicas. El tema rematará con algunas consideraciones sobre gasificación subterránea.

Explotación a cielo abierto

Es la explotación más sencilla, tipo cantera por terrazamiento. Se aplica en los lignitos (Alemania, Checoslovaquia, Yugoslavia, Australia, etc.); a veces también en carbones bituminosos como en los Estados Unidos de Norteamérica, Rusia y Canadá.

El método se puede utilizar cuando los mantos son horizontales o subhorizontales, y cuando la cubierta de terrenos muertos es relativamente breve. Indicativamente se señala la relación límite terreno/carbón = 7/1, dependiendo en definitiva dicha relación de la calidad del carbón, de la dureza de los terrenos y de la ubicación geográfica del yacimiento.

En este tipo de explotación si la cubierta es relativamente dura, se la afloja con tiros que se disparan en pozos que se horadan desde la superficie. Los terrenos desagregados son cargados con palas mecánicas generalmente en camiones que los alejan del lugar, quedando al descubierto el manto de carbón. Este último es arrancado mecánicamente y llevado a tolva o playa para su tratamiento o expendio.

Cuando se trata de terrenos relativamente blandos, la supresión de la cubierta y el arranque del carbón se hacen con grandes excavadoras. En los lignitos del valle del Rhin, por ejemplo, operan terrazamientos excavadoras de cangilones de 100.000 m³/día de capacidad.

Explotación por cámaras y pilares

Se trata de una explotación subterránea, más complicada que la anterior. Se la aplica principalmente en los Estados Unidos de Norteamérica, Canadá, Sudáfrica y Australia, para mantos regulares de 1 a 3 m de espesor, escaso buzamiento (menores de 10°), buen techo y cubiertas de hasta 200-300 m.

Este método de explotación presenta la ventaja de ser económico, de gran flexibilidad, mecanización simple y desarrollo en serie.

Se accede al lugar de explotación en el manto por medio de galerías, chiflones o pozos, o sea por excavaciones horizontales, inclinadas o verticales según las circunstancias. Dentro del manto se extrae el carbón de cámaras relativamente anchas, dejando entre las mismas pilares, que son parte del manto sin explotar que se trata de extraerlos al máximo en una segunda etapa, en retirada, cuando se deja el área de explotación. En las minas Monterrey I y II de Illinois (Estados Unidos de Norteamérica), el ancho de las cámaras y de los pilares es de 12,5 m. Esta magnitud se halla substancialmente controlada por las presiones de carga de los terrenos superpuestos y el comportamiento de techo del manto de carbón.

El arranque del carbón puede ser convencional con perforaciones y tiros, y no convencional con máquinas excavadoras especiales que se denominan "mineros continuos". Si el techo de las cámaras tiende a resquebrajarse, se procede a su abulonamiento con bulones especiales que afirman la roca cuando se los enrosca.

En las mencionadas minas de Illinois, que explotan el manto N° 6 con 2 metros de espesor, en cada frente de operación, con un "minero continuo", dos cargadoras (de 10 tn. cada una) para llevar el carbón a cinta que descarga en tolva, y una abulonadora, se producen unas 1400 toneladas de carbón bruto por día.

Explotación por frentes largos

Este es otro método de explotación subterránea, bastante más complejo que el método de explotación por cámaras y pilares. Se lo aplica principalmente en Gran Bretaña, Francia, Alemania, Polonia y Rusia, para mantos de 1 a 3 m. de espesor, inclinaciones menores de 30° y cubiertas mayores de 300 m.

El método consiste esencialmente en una galería abierta en el manto de carbón que se desplaza paralela a sí misma, derrumbándose de manera controlada a su espalda los terrenos que cubren el mineral sustraído ("arranque por derrumbe"). En las ciudades, para no dañar las obras civiles por asentamiento de suelos, el espacio creado por la extracción del carbón se rellena con materiales (arena, grava, etc.) que se envían desde la superficie.

Para emplazar los frentes largos es necesario hacer una serie de labores subterráneas de preparación o desarrollo, que pueden ser de "preparación primaria" para acceso a las zonas de extracción, y de "preparación secundaria" para apertura de los frentes.

Los frentes tienen entre 100 y 250 m de longitud. A los efectos de facilitar las operaciones el manto de carbón es previamente subdividido en años rectangulares cuyo ancho coincide con la longitud del frente, pudiéndose encarar la extracción en avance o retroceso, vale decir desde o hacia los chiflones principales, que son labores en pendiente enclavadas en el manto.

Practicado el arranque, se sostiene el techo del manto por medio de una estribación que, al avanzar conforme progresa la extracción, deja sin sustentación el techo, produciéndose de esta manera el derrumbe. Para el sostenimiento del techo en la actualidad se usan pilas marchantes de soportes hidráulicos en escudo, que superan notablemente los puntales convencionales.

El manto de carbón es cortado a todo lo largo del frente especialmente en su base, produciéndose su caída por gravedad. Para mantos finos y blandos se usan herramientas tipo "cepillo", y para mantos gruesos y duros herramientas tipo "rozadoras de tambor".

El carbón se evacúa del frente por un transportador blindado de doble cadena, que lo deposita en otro similar, con paredes laterales tipo tolva, el cual lo suele descargar en una cinta transportadora con destino a las tolvas de almacenamiento de interior de mina, de las cuales a su vez por cintas o por trenes se conducen a la planta de beneficiamiento.

La explotación por frentes largos, conforme se adelantara, requiere una preparación o desarrollo de mina previo. Esta tarea diferencia sustancialmente este método del método de explotación por cámaras y pilares. Para dicha preparación se tiende a ir reemplazando los métodos clásicos de excavación con voladuras de rocas, por medio de arranques continuos mediante fresado o rozado, con mejores rendimientos y más bajos costos por metro de avance. De acuerdo a esta técnica, hallan cada vez más difusión excavadoras-tuneleras de avance en galerías de carbón o en estéril, provistas de herramientas cortantes especiales.

La explotación requiere un complejo sistema operativo integrado, en el que juegan un rol relevante los servicios de fondos como el transporte, ventilación, comunicaciones, seguridad y mantenimiento.

En minas europeas que operan con este método, de su personal de subterráneo de mina, un 20% se ocupa de la preparación o desarrollo, un 30% de la producción, y un 50% de los servicios de fondo.

A causa del agotamiento que van sufriendo en el mundo los emplazamientos susceptibles de ser explotados a cielo abierto y por cámaras y pilares, es obvio

que las minas del futuro sean las minas profundas explotables por frentes largos. Esto en cierta manera explica los esfuerzos que se realizan para incrementar los rendimientos de este tipo de explotación. Con un frente de 200 m de largo y un manto de 2 m de espesor, normalmente se puede registrar una producción de 2000-2500 toneladas brutas por día. Los esfuerzos que se realizan tienen por meta elevar esa producción a 5000 toneladas brutas por día, así como también posibilitar la explotación de mantos de hasta 5 m de espesor, con el mayor grado de automatización posible.

Economicidad de las explotaciones convencionales

A los efectos de completar la información sobre las explotaciones convencionales mencionadas precedentemente, cabría agregar que la economicidad de las mismas es sensiblemente variable. En efecto, las explotaciones a cielo abierto son las que permiten mayor mecanización y flexibilidad operativa, con menores tiempos de preparación y gastos de mantenimiento, siguiendo en tales aspectos las explotaciones por cámaras y pilares, y luego las de frentes largos. En consecuencia, la dotación de personal afectado a tales explotaciones aumenta indicativamente en una relación del orden de 1:3:6, lo que se traduce en una disminución de productividad corrientemente expresada por la relación entre mineral extraído y hombres afectados.

Como resultado de lo expresado, los costos de producción aumentan desde las explotaciones a cielo abierto hasta las explotaciones por frentes largos, dentro de términos variables en función de las características y ubicaciones de cada yacimiento.

Explotaciones especiales

Estas son explotaciones subterráneas no convencionales de difícil mecanización, que se aplican a mantos en general de más de 3 m de potencia o espe-

sor, semialzados (de 30° a 50° de inclinación) y alzados (más de 50° de inclinación). Los pertinentes yacimientos, que hasta ahora se los ha venido considerando como marginales, cada día se los toma más en consideración.

Para estos yacimientos en algunos casos se han logrado adaptar a los mismos los métodos convencionales. Este es el caso por ejemplo de Francia que con ajustes de los métodos clásicos explota mantos de carbón semialzados, o de Inglaterra que en la zona de Coventry (Mina Dow Mill) explota un manto de 6 m de espesor con rozadoras de doble tambor.

En otras circunstancias se han desarrollado nuevos métodos y procedimientos en la concepción de la explotación del carbón. En este encuadre la realización más singular quizá sea la "mina hidráulica". Se trata de una patente de origen ruso, que en Occidente se aplica con éxito en la Mina Sparwood de Kaiser Resources, ubicada en Canadá en el flanco oriental de las Montañas Rocallosas.

Esta mina produce seis millones de toneladas de carbón por año, que se exportan por Vancouver a Japón. El 80% de esa producción se realiza a cielo abierto, y el 20% restante con la "mina hidráulica" atacando un manto de 15 m de espesor y 30° - 40° de inclinación.

La referida mina es una explotación subterránea con cámaras y pilares largos, que se voltean con un chorro de agua de hasta 180 kg/c² de presión, comandado desde un monitor. La misma agua se utiliza para el transporte del carbón arrancado hasta una tolva interna, desde donde se lo deriva a una planta depuradora ubicada en la superficie.

Gasificación subterránea del carbón

Es una concepción realmente revolucionaria de la explotación del carbón. La idea data del siglo pasado, de la que participaron investigadores de enver-

gadura como el físico Siemens de Alemania y el químico Mendelejeff de Rusia. La misma recién fue ejecutada en este siglo.

Distintos países, entre los que se cuenta Rusia, Alemania, Inglaterra y los Estados Unidos de Norteamérica trataron de llevar a la práctica esta nueva concepción de explotación del carbón, pero de todos ellos únicamente el país mencionado en primer término, desde los años treinta ha seguido sin interrupción investigando el tema, de tal manera que actualmente tiene cinco campos permanentes de gasificación, tres de los cuales alimentan sendas centrales termoeléctricas de las cuales la más importantes es la de Angren (Ouzbékistan).

Con motivo de la crisis energética que estallara en 1973, algunos países han vuelto a interesarse por el asunto.

Así, los Estados Unidos de Norteamérica han puesto en marcha distintos proyectos concurrentes para poder concretar en la presente década por lo menos un proceso de gasificación subterránea en escala comercial que permita movilizar reservas de carbón, mediante una eficiente y atractiva transformación energética.

La tecnología consiste en confeccionar un gasógeno en el propio manto de carbón, para lo cual debe prepararse el manto por medio de adecuados laboreos mineros o perforaciones. Estas últimas son preferibles, pero requieren mantos con poca inclinación. Cuando se da esta circunstancia, por medio de sondeos verticales desde la superficie se horada el manto de carbón, y posteriormente se enlazan dichos sondeos a lo largo del manto, aumentando la porosidad del carbón para hacer posible su gasificación. Para lograr este objetivo se conocen varias técnicas, en buena parte probadas en la industria petrolera: fracturación de capas, electrocarbonización, perforaciones dirigidas, explosivos y tiros, combustión invertida o a contracorriente, etc. Este enla

ce, para un buen distanciamiento de pozos, quizá sea el punto más importante a resolver. Una vez realizado el enlace, se produce la gasificación o combustión incompleta del carbón, inyectando por un pozo aire u otros combustibles y por el otro retirando el gas.

Dicho gas puede ser el denominado gas pobre, del orden de los 1000 Kcal/Nm^3 , que se obtiene inyectando aire, y que resulta aconsejable usarlo en el lugar para generar electricidad o como combustible industrial. Cuando se inyecta oxígeno -y algo de vapor si es necesario- se obtiene un gas intermedio de unas 2500 Kcal/Nm^3 , que se puede usar como materia prima para elaborar el gas de síntesis para producción carboquímica (por ejemplo de gasolinas sintéticas, amoníaco, metanol, aldehidos y compuestos oxigenados varios), o para metanizar y obtener syngas, o sea gas sintético que reemplaza el gas natural. Para el logro de esta última alternativa se halla presente la idea de inyectar directamente en el yacimiento hidrógeno, y obtener un gas con elevado tenor en metano.

De todos los proyectos lanzados por los Estados Unidos de Norteamérica, el más avanzado es el que controla el Laramie Energy Research Center en la localidad de Hanna próxima a Laramie (Wyo.) donde se gasifica un manto de carbón subbituminoso a 90-125 m de profundidad. Con los ensayos se logró mantener una buena gasificación, enlazando mediante combustión invertida pozos distantes 18 m entre sí, obteniendo un buen barrido de campo e interesantes eficiencias. Los esfuerzos se aplican para llegar al máximo distanciamiento posible de pozos, definiendo un módulo de gasificación para ensayos pilotos de larga duración.

Los carbones bituminosos de los Apalaches están siendo investigados desde el Morgantown Energy Research Center, ubicado en West Virginia. En esta área se vienen realizando ensayos en modelos, y se han iniciado trabajos de campo en Princeton, donde se ha escogido para ensayar una capa de carbón a 300 m de

profundidad. El propósito es llegar a preparar en esta capa gasógenos de largos frentes (de unos 150 m de longitud), por medio de perforaciones dirigidas desde la superficie, separadas unos 30 m unas de otras.

La gasificación profunda a 600 y más metros, se ha venido considerando en Europa Occidental, en razón de que en esa región (a diferencia de lo que pasa en Rusia y en los Estados Unidos de Norteamérica) no quedan yacimientos vírgenes -sin abrir- de mediana y menos aún, de poca profundidad. Las grandes cuencas como la del Ruhr, Limburgo, Pas-de-Calais, Yorkshire, etc. alojan enormes reservas de carbón que se hundan hacia el Mar del Norte que se comporta como un vasto fondo de cuenca. Esta alternativa ofrece ventajas termodinámicas derivadas de la mayor estanqueidad y presión hidrostática vigente en los yacimientos. Sobre este particular oportunamente se elaboraron algunos proyectos (ya para preparar gas pobre como el del Instituto de Industrias Extractivas de Bélgica -INIEX-, ya para la metanización del carbón como el de la Universidad de Aachen y otras instituciones alemanas), con el propósito de llevar adelante esta etapa de gran aliento.

Dentro de tal esquema en 1976 se firmó un convenio entre Bélgica y la República Federal Alemana, como consecuencia del cual en 1979 ambos países de manera conjunta iniciaron trabajos experimentales de gasificación subterránea en Thulin, cerca del límite Franco-Belga, en un campo virgen con capas que suman 4 m de espesor de carbón a una profundidad del orden de los 860 m.

En definitiva, para concluir podríamos decir que se encuentra en marcha de investigación y puesta a punto una nueva tecnología de explotación del carbón, que en los próximos años puede producir cambios radicales en los tradicionales criterios de aprovechamiento de los recursos de dicho combustible.

DEPURACION

El carbón que se obtiene de producción, generalmente hay que acondicionarlo para su uso. Así, por ejemplo, las grandes unidades para producir vapor, como las que tienen las centrales termoeléctricas suelen admitir un 20% y más de cenizas, mientras que unidades pequeñas y de procesamiento para elaborar coque no suelen admitir más que un 10% y 5% respectivamente. Tal adaptación del producto al uso, es resorte de la depuración en sentido amplio. Como complemento de la depuración, es necesario considerar el estibado o apilamiento del carbón, para evitar su degradación por efecto de la meteorización.

Procesamientos

El carbón de mina denominado "tal cual", "bruto", "de bocamina" o "todo uno", según los modismos propios de cada región, se caracteriza porque se halla integrado por tamaños diferentes, que van desde bloques a polvo. Además se caracteriza por el contenido de materia mineral inerte procedente del propio carbón que se denomina "inherente", y provenientes del techo y piso del manto que se denomina "adquirida". La materia mineral "inherente", a su vez puede corresponder a la propia substancia carbonosa derivada de los despojos vegetales, y puede provenir de materia que se acumuló con la substancia orgánica cuanto se formó el manto de carbón, denominándose a la primera "interior" y a la segunda "exterior". La materia mineral "interior" resulta prácticamente incontrolable por la depuración, no así la materia mineral "exterior" y "adquirida".

Para la adecuación comercial del carbón -en la medida que lo admita sus posibilidades-, primeramente se lo tamiza y clasifica por tamaños. Cuando se tiene un exceso de un tamaño dado, a éste se lo tritura y redistribuye, obteniéndolo

dose en definitiva los calibres que requiere el mercado, como verbigracia tamaño grueso de 76 a 20 mm, y fino de 20 a 0 mm. Estos tamaños son luego lavados por separado para graduar sus contenidos en cenizas, con lo que estrán listos para su expendio.

El lavado opera aprovechando la diferencia de peso específico del carbón en sí, y de sus estériles agregados que son más pesados. El peso específico del carbón tal cual puede variar entre 1,2 y 1,7; dependiendo de su rango, humedad y cantidad de matería asociada. Los pesos específicos de esta última varían como sigue:

- Pizarra, arcilla, arenisca	2,0 a 2,6
- Piritas	4,0 a 4,9
- Calcita	2,7
- Yeso	2,3

La posibilidad de lavar un carbón por un proceso de separación por gravedad, puede determinarse realizando un análisis densimétrico, en el que una muestra preparada se suspende en una serie de líquidos de densidades crecientes de 1,3 a 1,6.

En cada etapa se determinan el porcentaje y contenido de cenizas de la fracción flotada, con los cuales se calculan las "curvas de lavabilidad" correspondientes a carbón acumulativo, ceniza elemental y sedimento acumulativo. En base a estas curvas se tiene una idea de cómo se lava el carbón, y qué rendimientos de depurado se obtienen para distintas densidades de corte.

Las "curvas de lavabilidad" varían de un carbón a otro, por ello es que las mismas deben confeccionarse sobre muestras debidamente representativas de cada mina o manto de carbón. El lavado de carbón generalmente se hace por vía húmeda, según los métodos que se comentan a continuación:

Flotación por medio denso

Los líquidos que se usan para confeccionar las "curvas de lavabilidad", no se pueden aplicar en escala comercial a causa de sus costos. En lugar de éstos, sólidos finalmente divididos son agregados al agua a los efectos de preparar por agitación, una suspensión que tenga la gravedad específica necesaria para la separación. Se puede por ejemplo usar arena de peso específico 2,6 (proceso Chance), o baritas de pesos específico 4,2 con 2% de arcilla (proceso Barvoys), o magnetita de peso específico 5,2 (proceso Tromp).

En el proceso Chance -ya un poco obsoleto-, se hace flotar al carbón en un cono con una suspensión de arena de 0,2 a 0,5 mm en agua. La mezcla de arena, carbón depurado y agua circula por la parte superior del cono hasta una criba vibratoria que separa el agua y la arena, los que son devueltos al proceso. Como sólido del medio denso se prefiere usar magnetita, en razón de que por su elevado peso específico la suspensión resulta menos viscosa y atento a su eficiente recuperación magnética, que facilita su posterior recirculación minimizando pérdidas.

En muchas plantas de lavado se utilizan dos equipos en serie, cada uno con densidades distintas. Ello permite obtener un estéril prácticamente desechable, y otro producto del cual al ser tratado en el segundo aparato, se separa el carbón comercial y un carbón de calidad intermedia denominado "mixto".

Los lavadores de medio denso pueden ser tipo cono, rueda, tambor y caja. Todos ellos se hallan en condiciones de tratar material con un amplio campo de tamaños de partículas, siendo generalmente el límite inferior de 3 mm.

Lavado en jigs

Los jigs se utilizan para lavar todos los tamaños, incluso los finos, pero la separación densimétrica de los distintos productos no es tan eficiente como con los procesos basados en el medio denso.

En este método el carbón se apoya sobre una placa perforada, siendo sometido a la acción de corrientes sucesivas de agua ascendente y descendente, por medio de un mecanismo de agitación que puede ser a pistón o a aire comprimido.

La combinación de la densidad propia del carbón (que en realidad es una mezcla de carbón y estéril) con la fuerza ascendente del agua, provoca una estratificación a causa de la flotación de los productos más livianos (carbón) y la sedimentación de los más pesados (estéril).

Cuando se opera con material fino, para no perder carbón por el tamiz se coloca encima de éste una capa de feldespatos de trozos de 20 a 40 mm.

Lavado en ciclones y otros medios

El medio denso puede ser usado también en ciclones, para depuración de carbón fino. Este proceso, originariamente aplicado en las minas holandesas del Estado de Limburgo, fué desarrollado en Europa para lavado de tamaños entre unos 12 y 0,3 mm, y luego difundido en los Estados Unidos de Norteamérica, Canadá y otros países carboneros.

El material que se quiere tratar se suspende en un medio denso, y esta pulpa se inyecta tangencialmente en el ciclón. La separación se efectúa en la parte cónica del ciclón por la acción de las fuerzas centrífugas y centrípetas. La porción más pesada del material tratado sale por la abertura en el vértice, y la porción más ligera sale por el rebosamiento superior.

Las pruebas con ciclones han indicado la posibilidad de su uso sin medio denso, para tratamiento de materiales inferiores a 0,3 mm, debiéndose operar con alta densidad de pulpa y de presión de inyección.

Otros medios de depuración, pero casi en desuso, son los lavadores de canales o reolavadores, que consisten en conductos inclinados en los cuales entran por la parte superior porciones cribadas de carbón y agua. Cada canal contiene una serie de orificios a través de los cuales las partículas pesadas (estéril) caen en una corriente ascendente de agua. El material que pasa por cada orificio puede ser lavado nuevamente en otro canal trabajando el conjunto de la instalación en batería o cascada.

En viejos lavaderos aún pueden verse las clásicas mesas concentradoras de minerales adaptadas al carbón, siendo las mesas húmedas más eficaces que las secas cuando se trata de materiales sin cribar.

Flotación por espuma

Para limpiar con fines especiales polvo de carbón menor de 0,5 mm, se puede aplicar la flotación por espuma empleando el sistema de la humectabilidad diferencial.

Las partículas de carbón son mojadas por burbujas de espuma, preparada por agitación de aire y agua en presencia de ciertos aceites y agentes espumantes como cresol, aceite de pino o alcoholes pesados. Si se añade polvo de carbón al medio, las burbujas se adhieren a las partículas haciendo que floten. El polvo de estéril en cambio se hunde. El aceite de creosota se puede usar como colector. El polvo de carbón depurado forma una espuma, que se recoge y se somete a filtración en vacío.

Estibado del carbón

El carbón depurado generalmente es enviado a playa. Esta es una superficie de drenaje natural, de cemento, arcilla u otro material que no entre en combustión.

El carbón estibado en playa, en contacto con el oxígeno del aire se oxida. La intensidad de esta oxidación varía inversamente con el rango del carbón, de tal manera que los lignitos y carbones subbituminosos se oxidan más intensamente que los carbones bituminosos, y estos últimos a su vez más que la antracita. Además este fenómeno se halla controlado por el grano del carbón, pues a menor grano más superficie de contacto con el oxígeno y mayor ataque. Precisamente, el polvo de carbón, es la fracción más sensible -y peligrosa- en este sentido.

Con la oxidación aumenta la temperatura, y como por cada 10° C de aumento de esta última aproximadamente se duplica la velocidad de reacción, resulta que el fenómeno se va acelerando con el aumento de dicha temperatura.

La oxidación es más intensa al comienzo del estibamiento, especialmente en el primer mes. La misma produce en los carbones los siguientes efectos:

- Disminución del contenido en carbono e hidrógeno.
- Aumento del tenor en oxígeno.
- Disminución del poder calorífico.
- Reducción del poder aglomerante (coquizante).
- Reducción del tamaño de grano.

Las temperaturas críticas de pilas son variables, entre los 50° C para los lignitos y los 80° C para los carbones bituminosos, siendo este valor controlado en buena parte por el contenido de pirita (S_2 Fe). Cuando se llega a estos extremos, el carbón puede entrar en autocombustión. Para evitar esto es necesario bajar la temperatura, por remoción del carbón u otros medios.

De lo dicho se deduce que el carbón debe estibarse conforme con ciertas normas, que dicta la experiencia recogida con cada tipo de carbón. Las pilas no deben ser muy altas, generalmente de no más de tres metros, guardando una

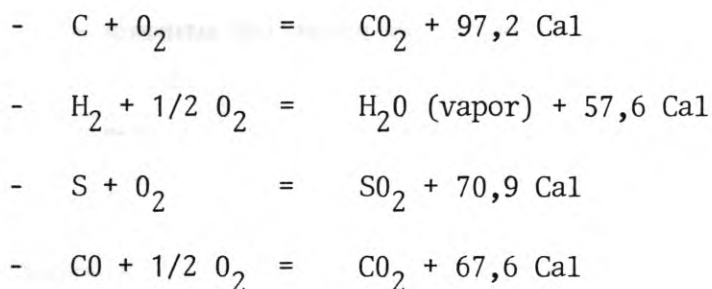
razonable relación entre superficie y volumen. Los carbones que más sufren la oxidación como los lignitos, o que más se desmejoran comercialmente con la oxidación como los destinados a la elaboración de coque siderúrgico, suelen apelmazarse o compactarse, y aún cubrirse con finas capas de asfalto para sustraerlos al máximo de dicha oxidación.

APLICACIONES DEL CARBON

Las aplicaciones fundamentales del carbón se pueden agrupar en tres capítulos: el de la combustión para generación térmica, el de la coquización (con reducción directa) para tratamientos siderúrgicos y el de la carboquímica para elaboración de productos químicos orgánicos. La casi totalidad de las tecnologías de gasificación y la licuación del carbón, corresponden a este capítulo.

COMBUSTION

La combustión o quema del carbón es una oxidación exotérmica rápida, que se mantiene por sí misma. Se presenta por medio de sencillas ecuaciones químicas, que expresadas en mol-gramo son las que siguen:



En una combustión perfecta -sin exceso, ni defectos de aire-, el contenido de CO_2 en los humos varía entre 17% y 19%, según el tipo de carbón. Este porcentaje disminuye en la medida en que la combustión deja de ser perfecta. La combustión para producir calor, es la aplicación más importante que se ha dado en todos los tiempos al carbón. Dicha combustión se puede realizar directamente con carbón, o con productos elaborados con carbón.

Combustión sobre parrilla

Es la manera más simple de quemar el carbón. Generalmente se requiere carbón grueso.

Este se enciende sobre una parrilla o reja, que puede ser fija o móvil, la que permite el acceso de aire por la parte inferior. El volumen de aire debe ser suficiente para evitar que algunas materias combustibles como el CO y el hollín se evadan sin quemar. Debe cuidarse también que no haya exceso de aire que consuma desmesuradamente calor sensible del hogar, con lo que también se reduciría el rendimiento térmico.

Este tipo de combustión se aplicó de manera universal hasta los años veinte. El sistema adolece de varios inconvenientes entre los cuales se pueden citar la baja flexibilidad operativa, el tipo de carbón (de buena calidad y bien calibrado), la imperfecta mezcla aire-combustible que obliga a trabajar con excesos de aire del 100%, y el gran tamaño de las instalaciones.

Combustión de carbón pulverizado

En 1925 se inventó el uso del carbón pulverizado, que rápidamente reemplazó al carbón sobre parrilla, que quedó relegado a unidades menores.

La tecnología requiere carbón de tamaño fino, que es el que se tiende a producir en las minas con alta mecanización. Dicho carbón debe ser finamente molido a un tamaño del orden del décimo de milímetro. Este material pulverizado es transportado suspendido en aire (aire primario) hasta el quemador donde, previa mezcla con más aire (aire secundario), se quema.

Esta combustión imita la de los combustibles líquidos, como por ejemplo la del fuel-oil. Tal imitación se conoce en el campo tecnológico como "mimetismo", y es bastante frecuente en los combustibles sólidos con respecto a los combustibles líquidos.

La llama de carbón pulverizado es más bien larga, desarrollándose generalmente en calderas o evaporizadores, y en hornos como por ejemplo los hornos rotativos de cemento.

Las cenizas del carbón pulverizado en su mayor parte tienden a evadirse con los humos por la chimenea, siendo retenidos -para evitar la polución- antes de llegar a la atmósfera por ciclones o filtros electrostáticos. Las cenizas restantes que caen, pueden ser evacuadas en forma seca o en forma líquida (fundidas), fluyendo en este caso a un depósito con agua, donde se granulan. En los mencionados hornos de cemento, las cenizas se suman al clinker transformándose en cemento.

El sistema de carbón pulverizado tiene una serie de ventajas, entre las cuales se pueden mencionar su gran flexibilidad operativa, la posibilidad de usar gran variedad de carbones, y la buena mezcla aire-combustible que permite trabajar con excesos de aire en un 10%-20% aumentando sensiblemente los rendimientos térmicos.

Combustión en hogares ciclónicos

Es una forma de combustión del carbón pulverizado en una pequeña cámara adosada a la caldera, con gran turbulencia, para elevar la temperatura a unos 1.700°C. Estos hogares tienen las paredes refractarias refrigeradas con agua. Las partículas de carbón con el aire son introducidas tangencialmente a gran velocidad, describiendo en forma helicoidal. Los humos de la combustión a elevada temperatura son los que se envían a la caldera o evaporizador propiamente dicho. Las cenizas en buena parte líquida por la temperatura reinante, son evacuadas por la parte inferior del hogar y volcadas en un depósito con agua, donde se granulan.

Las ventajas de esta tecnología recomendable para carbones con bajo punto de fusión de cenizas, son las siguientes:

- Funcionamiento con carbón menos molido que en el sistema de carbón pulverizado convencional, con el consiguiente ahorro en molienda.
- Bajo exceso de aire (5% - 10%), con la consecuente ganancia en rendimiento.
- Disminución de tamaño de los evaporizadores, por la elevada temperatura de trabajo.
- Importante merma de cenizas voladas, que tienden a evadirse por la chimenea.

Combustión en lechos fluidizados

Es una nueva concepción de la combustión, en vías de desarrollo. La idea data de 1920, pero recién en los últimos años comenzó a concretarse. Actualmente hay varias plantas piloto y dos unidades de demostración que operan a presión atmosférica, una en Rendew (Escocia) de 8 MW y otra en Rivesville (Virginia, E.E.U.U.) de 30 MW.

El procedimiento consiste en quemar el carbón molido en un lecho de 0,5-1 m de espesor, manteniendo las partículas de carbón suspendidas por el aire de combustión que se insufla desde abajo a 0,5-2 m/segundo de velocidad. El lecho encendido alcanza una temperatura de 800-900°C, y en el mismo van inmerso los órganos para generar vapor. Esta tecnología es expresamente indicada para carbones con abundantes cenizas y azufre. En este caso al lecho se le agrega calcita o dolomita molida que absorbe el SO_2 con una eficiencia del 90%, evitando la contaminación ambiental. El residuo calcáreo junto con las cenizas sobrantes, se descargan lateralmente por medio de un rebase. Las investigaciones en marcha consideran también las posibilidades de combustionar esquistos bituminosos y residuos de plantas de lavado de carbón.

La temperatura relativamente baja del lecho tiene la ventaja de disminuir la emisión de óxido de nitrógeno, y permitir el uso de aceros medianos. La inmersión de los órganos de vaporización en el lecho aumenta sensiblemente la transmisión del calor, lo que trae aparejada la ventaja económica de menores superficies y pesos de materiales.

La tecnología en cuestión contempla la posibilidad de operar los lechos a presión ($10-20 \text{ kg/cm}^2$), con lo que mejoran los rendimientos pudiéndose turbinar los humos (previamente limpiados), operándose en ciclo combinado vapor-gas. En Volklingen (Alemania) se ha comenzado a construir una unidad de este tipo de 230 MW, que operará 195 MW a vapor y 35 MW a gas. Se presume que esta tecnología en la década próxima tendrá difusión comercial, para generación de electricidad y de calor para diversos usos.

Generadores magneto-hidrodinámico (MHD)

Las centrales termoeléctricas son las grandes unidades consumidoras masivas de carbón. En las mismas difícilmente se sobrepasa un rendimiento energético del 40%, o sea la mitad aproximadamente del rendimiento teórico máximo de acuerdo al ciclo de Carnot.

La razón de esta falencia se debe principalmente a la pérdida térmica que se sufre operando con vapor, como agente motriz para mover las turbinas.

Con el propósito de mejorar esta performance, en los últimos años, especialmente en Rusia, Estados Unidos de Norteamérica, China, Australia, Polonia, Inglaterra, etc., se viene ensayando la generación directa de electricidad en los denominados generadores magnetohidrodinámicos o MHD.

En estos generadores, se hace actuar un gas ionizado (que puede ser el humo de combustión del carbón) a temperaturas superiores a los 2.000°C en un campo

magnético. A esas temperaturas las moléculas se disocian aumentando la concentración de electrones, que pueden a su vez incrementarse agregando a la llama substancias como potasio o cesio.

El gas ionizado (plasma) opera como un conductor que se mueve en un campo magnético. En el mismo se produce una corriente de electrones que es la electricidad. Es el sencillo principio del dínamo convencional, que en su momento el genio de Faraday vió en el río Támesis (conductor) al cortar el campo magnético de la Tierra.

Las posibilidades de generación eléctrica directa (MHD), a ciclo abierto o a ciclo cerrado, es especialmente recomendable para operar en forma combinada con los sistemas convencionales, pudiéndose llegar a rendimientos energéticos globales del orden del 60%. Existen ya unidades de ensayo de 250 MW térmicos de potencia (U-25 Moscú). Rusia está construyendo una planta de 500 MW eléctricos que funcionará en 1986.

Combustión de productos elaborados con carbón

Estos productos pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos.

Productos sólidos

Dentro de esta categoría de productos tenemos el coque y semicoque del carbón, que son residuos sólidos aglomerados que a veces se obtienen de la destilación de carbones a alta temperatura (1.000°C) y baja temperatura (550°C), respectivamente. A estos residuos, que se suelen quemar sobre parrillas o en hornos como los de cal, se los denominan "combustibles sin humo", porque al arder dan humos muy limpios -poco visibles-.

Los principales productos sólidos elaborados con carbón son las briquetas, de las cuales en el mundo se elaboran unos 100 millones de toneladas por año.

Los briquetas son aglomerados de carbón en forma de panes, huevo o raviol. El objeto de briquetar el carbón es el de utilizar carbones de granulometría fina, o de bajo rango, que en este estado no pueden utilizarse en hogares de parrilla industriales o domésticos, o en hornos de cuba como los que se usan para elaborar cal.

Los lignitos pueden aglomerarse directamente, por simple presión, en cambio los otros carbones necesitan el empleo de aglomerantes o aglutinantes como la brea de alquitrán, asfaltos de petróleo u otros productos de propiedades similares. El briqueteo permite usar carbones previamente desgasificados-destilados, con lo que también se puede elaborar por esta vía un "combustible sin humo".

Productos líquidos

Son los denominados combustibles coloidales que se queman como un combustible líquido. Fueron a veces usados en barcos y locomotoras. Ultimamente, especialmente en los Estados Unidos de Norteamérica, han vuelto a ser probados en centrales termoeléctricas para ahorrar petróleo.

Estos combustibles consisten en una suspensión de carbón muy fino (polvo) en aceites combustibles, en un porcentaje del orden del 40%. Para prevenir la decantación del sólido, la suspensión se estabiliza con un coloide protector, como ciertos jabones, resinatos u otros productos adecuados.

Productos gaseosos

El carbón puede ser transformado parcial o ~~totalmente~~ (excepto las cenizas) gas, y como tal puede ser quemado. En términos complexivos existen tres clases de gases comerciales del carbón: gas pobre, gas intermedio y gas de ciudad.

El gas pobre se produce en gasógenos con carbones graneados. Es el resultado de una combustión incompleta, con defecto de aire. Se halla compuesto por monóxido de carbono, anhídrido carbónico y nitrógeno, tiene unas 1.000 Kcal/Nm³, y se lo aplica generalmente para calefaccionar pequeños hornos.

El gas intermedio se elabora de una manera un tanto similar, pero en forma alternada o cíclica e inyectando un poco de vapor que interviene en la reacción. El gas tiene un alto contenido de monóxido de carbono, y algo de hidrógeno, anhídrido carbónico y nitrógeno. Acusa unas 2.500 Kcal/Nm³ y se lo aplica como agente térmico industrial.

El gas de ciudad es un gas del orden de las 4.500 Kcal/Nm³ y se halla fundamentalmente constituido por óxido de carbono, hidrógeno, metano y anhídrido carbónico. También a veces se lo denomina gas rico y es el gas que especialmente en el siglo pasado se lo ha distribuido en las ciudades cubriendo especialmente en el campo doméstico las actuales aplicaciones del gas natural.

~~Aún~~²⁰⁹ se lo usa en algunas localidades europeas, australianas, asiáticas y sudafricanas.

El gas de ciudad originalmente se lo ha elaborado destilando carbón a baja temperatura (550°C) y a alta temperatura (1000°C). En el primer caso los subproductos sólidos y líquidos que se lograban eran subsidiarios del gas, mientras que en el segundo caso el gas era más bien un subproducto conexo al coque.

A causa del invento del método Linde-Frankl para obtener oxígeno a partir del aire,, en los años treinta comenzó a difundirse la patente Lurgi de Alemania para preparar gas de ciudad, gasificando carbón a 15-20 Kg/c² con vapor de agua y oxígeno. Desde entonces se construyeron varias plantas en el mencionado país, en Inglaterra, Checoslovaquia, Sudáfrica, Australia, Pakistán y Corea.

Después de la Segunda Guerra Mundial comenzó cada vez a cobrar más importancia el gas natural, que la industria petrolera tradicionalmente lo consideraba un

estorbo de la producción. El uso del gas natural fue fuertemente impulsado en los Estados Unidos de Norteamérica, evidenciándose las ventajas de ese producto de alto contenido calórico ($8000-9000 \text{ Kcal/Nm}^3$) sobre el viejo gas de ciudad. Europa con el gas norafricano y ruso, Latinoamérica, y otras áreas, fueron siguiendo el mismo camino.

Dentro de este contexto, en 1973 comenzó dentro de los propios Estados Unidos de Norteamérica la reacción del carbón-gas, con motivo de haberse establecido la declinación en ese país de las reservas gasíferas naturales a plazos ciertos dentro del siglo próximo venidero.

Una red de gasoductos de un millón de kilómetros debe continuar alimentándose. Como consecuencia, fueron preparándose una serie de proyectos para elaborar a partir del carbón gas natural sintético o "syngas". Este gas y el gas intermedio como materia prima, se los consideran en Carboquímica.

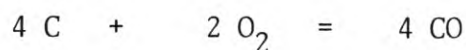
Para terminar el tema referente a la combustión de productos gaseosos, se podría mencionar una nueva e interesante alternativa de generación de energía mediante turbinado de gas elaborado con carbón. Se trata de la preparación de un gas con vapor-aire a presión. El gas previamente depurado, a $8-10 \text{ Kg/c}^2$ de presión, es combustionado elaborándose vapor que a unos 580°C y 130 Kg/c^2 mueve una turbina. Los gases de escape a 800°C , a su vez se aprovechan para accionar una turbina de gas que se suma a la potencia de la planta. Una unidad prototipo de 165 MW a ciclo combinado gas-vapor, existe en Lunen, Alemania, con gasógenos Lurgi.

En los Estados Unidos de Norteamérica especialmente la firma Westinghouse, para resolver el problema de la polución que motiva los abundantes y baratos carbones con mucho azufre, está probando este sistema, pero aplicando para la gasificación técnica de lechos fluidizados.

COQUIZACION Y REDUCCION DIRECTA

En el mundo se consumen anualmente unas 400 mill. de Tn de coque. La mayor parte de este consumo se realiza en los altos hornos, para transformar el mineral entre 5.000 y 10.000 toneladas por día de arrabio. El consumo de coque suele ser de 500-600 kilogramos por toneladas de arrabio, pudiéndose reemplazar hasta un 20% de este consumo por calorías equivalentes de gas natural, fuel-oil y aún carbón pulverizado. Es problemático un mayor reemplazamiento, por la función separadora que realiza el coque, en la zona-inferior del horno, de ablandamiento y licuación del mineral de hierro.

El trabajo del coque en el alto horno es, más o menos por partes iguales, de agente térmico y de agente reductor según la siguiente ecuación:



En un modo operativo distinto, la reducción puede ser directa, según la ecuación siguiente:



Elaboración de coque

Para obtener coque se usan carbones finos especiales, con un 25% de materias volátiles sobre puro, que se denominan coquizantes. Estos carbones se calientan al abrigo del aire a aproximadamente 1.000°C. El carbón se descompone hacia los 380°C, desprendiéndose del mismo materias volátiles no condensables

(gas rico de 4.500 Kcal/Nm^3) y condensables (alquitrán y benzol). Queda un residuo sólido que es el coque, constituido por carbono y las cenizas del carbón. Una tonelada de carbón produce aproximadamente 750 kg. de coque.

Los hornos para coque son cámaras construidas en materiales refractarios (ladrillos de sílice), que tienen la forma de un paralelepípedo comprimido. Sus dimensiones son: ancho 40-45 cms, largo 12 a 15 m. y alto 5 a 7 m.

El calentamiento se asegura con humos calientes (de la combustión del gas rico) que circulan por conductos entre las cámaras. Una batería de hornos de coque comprende generalmente de 70 a 100 cámaras, con conductos de calentamiento intermedios. Una cámara por ejemplo de $45 \times 15,5 \text{ m} \times 6 \text{ m}$ contiene 27 toneladas de carbón, que dan 20 toneladas de coque. La coquización, también denominada carbonización, puede durar unas 17 horas.

El carbón se introduce en las cámaras por gravedad, por medio de un vagón-car_gador cuya tolva se llena con carbón en torres ubicadas al final de las bate_rías, que contienen reservas de carbón aproximadamente para una jornada de tra_bajo. Cuando concluye la coquización se retiran las puertas que cierran los dos extremos de la cámara, y una máquina desenhornadora empuja el coque que cae por otro extremo. El coque a 1.000°C en contacto con el aire comienza a quemar. Por ello enseguida se lo apaga, transportándose en vagones hasta una lluvia de agua. Luego el coque es cribado y derivado al uso.

Coque metalúrgico

Este coque destinado al alto horno debe poseer las siguientes características:

- Granulometría bien controlada generalmente entre 40 y 80 mm, que asegure una buena permeabilidad de lecho.

- Una solidez tal que la granulometría no resulte sensiblemente modificada durante el manipuleo y pasaje por el alto horno. Esta solidez se controla con los ensayos al tambor, consistentes en someter una determinada cantidad de coque a la acción destructora de un tambor rotatorio con aletas, que a determinada velocidad se hace girar cierto tiempo. Estos ensayos se hallan normalizados, recibiendo el nombre de Micum (mayor de 40 mm y menor de 10 mm) en Europa y Tumbler Test (mayor de 3 pulgadas y menor de 1 pulgada) en los Estados Unidos de Norteamérica.
- Humedad debidamente controlada para evitar errores de pesaje.
- Tenor en cenizas también debidamente controlado, generalmente menor de 10%.
- Menos de 1% de azufre.

El contenido de cenizas y de azufre depende del carbón. La humedad depende de la manera de apagar el coque con agua. La granulometría y sobre todo la solidez dependen de la calidad del carbón y de las operaciones de fabricación.

Los carbones típicamente coquizantes son relativamente escasos, y sus campos se hallan estrechamente controlados por los grandes consorcios siderúrgicos. Por ello es que se han venido realizando esfuerzos para desarrollar métodos que posibiliten usar -con la base de la tecnología convencional-, carbones no tan específicos y más abundantes. Tales esfuerzos se han realizado en tres direcciones.

Sección petrográfica

El carbón se halla formado por macerales, que son compuestos petrográficos con diferentes aptitudes. Previa molienda del carbón, se elaboran concentrados de los macerales más aptos para coquizar. El método Sovaco de Francia, es un ejemplo de realización.

Densificación de carga

En el método clásico el carbón en las cámaras de coquización tiene una densidad de carga de aproximadamente 700 kg/m^3 . Aumentando esta densidad por molienda fina, disminución de humedad, uso de aceites que se recuperan en la destilación, y pilonado o pisonado, se estimula la aptitud coquizante permitiendo usar carbones de menor calidad sin desmejorar el coque final. El método del pilonado fue aplicado por primera vez en Silesia (Alemania), y puesto a punto después de la Segunda Guerra Mundial por Francia en la zona de Lorena. En este método, con el carbón se hace un pan compactado de la densidad de carga de aproximadamente 1000 Kg/m^3 , que luego es introducido lateralmente en la cámara de coquización, siguiéndose luego el proceso que conocemos.

Pre calentamiento

Consiste en secar y precalentar el carbón a una temperatura del orden de los 250° C , antes de cargarlo en los hornos de coquización. Esto mejora notablemente las características mecánicas del coque, permitiendo usar carbones poco coquizantes. Por otra parte el calentamiento, como la densificación de carga, aumenta la producción de las baterías, en un porcentaje que cubre los costos extras que insumen la aplicación de estos métodos. El proceso Coalteck es una realización concreta del precalentamiento en los Estados Unidos de Norteamérica y en Europa.

Coque de fundición

Es un tipo de coque algo diferente al coque metalúrgico, toda vez que debe actuar sólo como agente térmico y no como agente de reducción. Por consiguiente la reacción $\text{CO}_2 + \text{C} = 2 \text{ CO}$ resultaría perjudicial en el horno de cubilote en el que se usa este coque.

El coque de fundición es un coque grueso y compacto que en las coquerías convencionales, se logra con carbones coquizantes con relativamente bajo tenor de materias volátiles (o incorporación de carbones magros), con agregado a las pastas a destilar de polvo de coque finamente dividido, y con temperaturas de cocción relativamente bajas.

Coque químico

El coque químico es que se usa para hacer el carburo, el ferrosilicio, el ferrocromo, el ferromanganeso, a veces el fósforo, etc. A este coque no se le exige gran solidez, pero sí reactividad y, para los hornos eléctricos, resistividad. Sus especificaciones químicas son variables y severas, obligando a elegir con particular cuidado el tipo de carbón.

Se prepara en los hornos de coque tradicionales, existiendo en desarrollo un horno rotativo de calefacción interna, que a 700°C elabora un coque muy reactivo apreciado por los electrometalurgistas.

Coque moldeado

Desde hace varios años se está tratando de fabricar coque por un camino completamente diferente al tradicional. Este es el coque moldeado. La idea general consiste en preparar con cualquier carbón o residuo sólido de destilación un aglomerado, que luego es coquizado. Si bien esta idea es por demás de simple, los modos de realización son diversos y complejos. En general estos modos, se apoyan en dos procesos.

Aglomeración

Consiste en el briqueteo del carbón en prensas de rodillo, usando un aglomerante. Existe una tecnología diferente, también simple en su concepción, pero di-

fácil de poner a punto. Consiste en mezclar un carbón infusible (no coquizante) con algo de carbón fusible (coquizante), hallándose el primero precalentado a una temperatura suficiente para hacer fundir el segundo que juega el rol de aglutinante. La mezcla caliente es moldeada en una prensa a rodillo.

Coquización

Generalmente se realiza en:

- Hornos verticales de calefacción externa, cuya carga y descarga se realiza por gravedad.
- Hornos de cuba donde las briquetas son coquizadas por contacto directo con humos calientes.
- Hornos de arena, en los cuales la cocción de las briquetas se hace en contacto con arena caliente que se recicla.

Sobre estas bases se han diseñado varias patentes, de las cuales las más conocidas son: BFL y ANCIT de Alemania, FMC de los Estados Unidos de Norteamérica, HBN de Francia y DKS de Japón.

La tecnología del coque moldeado presenta las siguientes ventajas sobre la tecnología del coque convencional.

- Permite usar carbones no coquizantes.
- Es más flexible desde el punto de vista operacional.
- Posibilita una mayor mecanización y automatización.
- Es menos polucionante.

La tecnología del coque moldeado está aún en vías de desarrollo, habiendo reemplazado con éxito partes importantes del coque convencional en altos hornos.

Es posible que en un futuro las coquerías tradicionales trabajen como unidades de base, y que las plantas de coque moldeado por su flexibilidad operen como unidades de punta para satisfacer los picos de producción.

Reducción directa de minerales de hierro

Conforme se adelantara, como agente reductor de mineral de hierro, el carbón se puede usar directamente. Es lo que se conoce como reducción directa o pre-reducción de minerales de hierro, que técnicamente se puede definir como la desoxidación del mineral de hierro en estado pastoso.

El producto recibe el nombre de hierro esponja, por su naturaleza porosa. En la práctica la mayor parte de este hierro reemplaza a la chatarra, en la elaboración del acero a partir del arrabio del alto horno.

La reducción directa es la técnica de las antiguas forjas catalanas, y se la aplica en minisiderurgias según los procesos siguientes.

- Reducción en "cassettes" en hornos Hofman (circulares) y en hornos túneles: procesos Hoganas y Oxelosund de Suecia.
- Reducción en hornos de cuba con calentamiento exterior: procesos Echeverría de España y Kinglor Metor de Italia.
- Reducción en hornos rotativos de calefacción exterior (proceso AGAR de los Estados Unidos de Norteamérica) y de calefacción interior. Estos últimos constituyen las realizaciones mayores (entre 60 y 400 mil toneladas de hierro esponja por año). Son hornos como los de cemento, pero con llama interior reductora. La carga del horno se hace con mineral de hierro clasificado o "pellets" mezclados con carbón fino, generalmente menor de 10 mm. Para que no se empaste la carga, el punto de fusión de las cenizas del carbón debe ser unos 100°C por debajo de la temperatura de trabajo, que es del orden

de los 1.200°C. Existen plantas erigidas por las firmas Krupp y Lurgi de Alemania en Biloni, Durnswart (Sudáfrica), en Gleenbrook (Nueva Zelandia), en Charqueadas (Brasil) y en Mina Griffith (Canadá).

Para concluir con el tema cabría agregar que la reducción directa de minerales de hierro con carbón, en la práctica es un proceso un tanto difícil de controlar. Por ello se ha pensado en usar para tal fin gases reductores elaborados con carbón. Así han surgido algunas patentes como la Wiberg de Suecia que reduce el mineral de hierro con CO e H₂, elaborados mediante gasificación de coque. Pero estos métodos no pueden competir con otros como el Midrex, Purofer, Armco y HIB, que usan gas natural generalmente reformados con vapor como elemento reductor ($\text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + 4\text{H}_2$).

Dado la gran ventaja que significa poder operar con gases reductores, para las zonas sin gas natural la siderurgia no pierde de vista la posibilidad de usar gases reductores elaborados con carbón, recurriendo a nuevas tecnologías como la que ofrece el gasificador Koppers-Totzek que se comenta en Carboquímica, el cual genera un gas con 85% - 92% de CO e H₂.

CARBOQUIMICA

La química orgánica industrial se puede hacer tanto a partir del carbón como del petróleo, a veces con los mismos esquemas de reacción, a veces tomando caminos diferentes. De allí que no se deba aplicar un criterio exclusivista cuando se hable de productos carboquímicos y petroquímicos, si bien hay productos que interesa sacarlos del petróleo, y otros del carbón como el carburo de calcio, los carbonos activados, o los hidrocarburos aromáticos con más de dos anillos.

Hasta los años 50 buena parte de esa química industrial se basaba en el carbón, pero luego por la gran caída de los precios petroleros especialmente entre 1960 y 1972, la carboquímica cedió bruscamente ante la petroquímica. La situación parece tender a revertirse hacia fin de siglo por la mayor abundancia y mejor repartición del carbón con relación a los hidrocarburos, y por la previsible evolución de tecnologías de transformación del carbón.

Carboquímica actual

El grueso de la carboquímica se ha hallado estrechamente ligado a la fabricación de coque metalúrgico. Dicha carboquímica comprende las siguientes actividades:

- Fabricación de carburo de calcio a partir del coque.
- Obtención de H_2 a partir del gas rico de coquería.
- Fraccionamiento de los subproductos líquidos de coquería.

La elaboración del carburo de calcio, y por ende del acetileno a partir de este producto, en buena medida depende de la tarifa del ~~k~~ kWh, especialmente en las horas de bajo consumo.

La obtención de H_2 a partir del gas rico de coquería, es una actividad un tanto ocasional, existiendo relativamente pocas instalaciones que se ocupan de ello.

El fraccionamiento de los subproductos líquidos permite obtener entre otros productos benceno, tolueno, xileno, fenol, cresol, bases pirídicas, cumarona, naftaleno, antraceno, fenantreno y sulfato de amonio, siendo para la química orgánica industrial el benceno y el naftaleno los productos más importantes. También se realizan algunas elaboraciones de uso paraquímico, como la creosota y aglutinantes para electrodos.

Dichas actividades, en verdad integran una pequeña carboquímica faltal ligada a la coquización, que subsistirá y evolucionará en la medida que lo haga la fabricación del coque.

Dentro de este cuadro hay una excepción representada por el complejo carboquímico integral de la South African Coal, Oil and Gas Ltd. (SASOL), que tiene sus antecedentes en la carboquímica global desarrollada por Alemania para producción de hidrocarburos y productos químicos varios.

Sobre el particular cabría recordar que el mencionado país, hasta fin de la Segunda Guerra Mundial, tuvo en operación 12 plantas de hidrogenación de carbón que producían 4.000.000 de toneladas por año de gasolina, y 9 plantas de gasificación y síntesis a partir del carbón que elaboraban 700.000 toneladas por año de hidrocarburos y productos químicos básicos.

En esos años y aún en los inmediatos de posguerra, también se instalaron fuera de Alemania una nueva docena de plantas de gasificación y síntesis sobre la base del carbón, que producían especialmente hidrocarburos alifáticos, desde gaseosos a parafínicos de alto punto de ebullición.

Las plantas alemanas fueron clausuradas en 1945 al terminar la guerra. Las otras subsistieron un tiempo, pero finalmente fueron desapareciendo en la medida en que, desde fines de la década del cincuenta, fueron deprimiéndose los precios del petróleo, conformando un bache que perduró por más de veinte años con cotizaciones del crudo de u\$s 1 a 2 el barril.

La única instalación que subsistió, fue precisamente la de Sudáfrica (SASOL), a causa del bajo precio de los carbones locales -con mano de obra barata-, y a la carencia de hidrocarburos naturales en la región. La primera planta, denominada SASOL I, de 230.000 toneladas por año de capacidad de producción, comenzó a operar en 1955 en Sasolburg. Frente a la revisión del precio internacional del petróleo, el complejo empezó a expandirse. En 1980, fue puesta en funcionamiento en Secunda la planta SASOL II, de una capacidad de producción de 2.000.000 de toneladas por año. En 1984, también en Secunda entró en operación la planta SASOL III, de igual capacidad productiva. Estas dos últimas instalaciones redondearon una inversión de u\$s 7.000.000.000.- Al momento se proyecta la erección de la planta SASOL IV, que sumará a la producción tradicional representada por gasolina, una producción significativa de metanol.

El tren de gasificación del complejo fue diseñado sobre la base del gasificador Lurgi, operado con O_2 y a presión. La capacidad de generación de gas crudo por unidad de gasificación instalada se ha incrementado sorprendentemente, pues de los 36.000 m^3/h registrados en SASOL I se ha llegado a 75.000 m^3/h en SASOL III. Actualmente se halla en ensayo una nueva unidad de 100.000 m^3/h . Por lo que concierno a la síntesis del gas, en el complejo se ido pasando de los reactores con catalizadores fijos (ARGE), a los reactores con catalizadores de lecho fluidizado (Synthol) que incrementan la producción de hidrocarburos livianos.

Desde mediados de la década pasada, se ha venido hablando de varios proyectos de carboquímica integral para elaboración de amoníaco y metanol, especialmente en India y Polonia. Algunos de estos proyectos se han venido ~~conectando~~ conectando en un

tiempo prudencial. Por ejemplo en India en 1979 se inauguraron dos plantas con gasificadores Koppers-Totzed -de cuatro cabezas-, que producen cada una 900 toneladas diarias de amoníaco, que en su mayor parte se transforma en urea para su utilización como fertilizante. Estas plantas consumen 1,78 tonelada de carbón, por tonelada de amoníaco.

Estos proyectos quizá sean el anuncio de un nuevo despertar carboquímico, que según los signos y aprontes que se observan, en un futuro probablemente tendrá su epicentro en los Estados Unidos de Norteamérica por gestiones del propio Gobierno y de empresas privadas entre las cuales se cuentan las petroleras.

Con relación a estas últimas cabría recordar que Exxon Corporation, Gulf Oil Corporation, Standard Oil of Ohio, Occidental Petroleum Corporation, Continental Oil Company, Shell Coal International (filial de la Shell) y British Petroleum, han adquirido importantes campos carboníferos en el mencionado país, y también en Sudáfrica y Australia. Algunas de ellas además han formalizado participaciones en explotaciones aún fuera del área que se comenta, como Exxon Corporation (a través de una filial) en el yacimiento de carbón El Cerrejón de Colombia.

Aún más, algunas de esas empresas al momento también encaran trabajos de investigación y desarrollo en el propio campo carboquímico. Por ejemplo, Exxon Corporation concentra sus esfuerzos al respecto en la licuación (hidrogenación) del carbón en Baytown (Texas) para fabricación de crudos sintéticos (synoil) y derivados, y Shell Coal International hace lo propio en el área de la gasificación del carbón en Haburg-Hamburg (República Federal Alemana) y Países Bajos para elaboración de gas natural sintético (syngas).

Carboquímica del futuro

Hacia fin de siglo, se advierte el desarrollo de las dos grandes líneas carboquímicas que se comentan a continuación.

Hidrogenación

El inventor de la hidrogenación del carbón, que mereciera el premio Nobel de Química 1931, fue Friederich Bergius quien falleciera en Argentina en 1949 prestando servicios en Combustibles Vegetales, empresa estatal que absorbiera Yacimientos Carboníferos Fiscales. Sus primeras patentes, auspiciadas por la Compañía Shell de petróleo datan de 1912. Durante la Segunda Guerra Mundial en base a su procedimiento, Alemania elaboró gasolina especialmente de aviación a partir del carbón.

Para la hidrogenación se puede usar desde carbón bruto pulverizado hasta extracto soluble de carbón. Bergius en la preguerra hidrogenaba mezclas de 20 partes de carbón, 8 de alquitrán y 1 de catalizador (principalmente óxido de hierro), a 450°C y 200 Kg/c^2 de presión. Con el consumo de 50 Kg de hidrógeno por tonelada de carbón, elaboraba 500 Kg de aceites combustibles.

En los Estados Unidos de Norteamérica, en los años inmediatos de la posguerra surgió la patente Hydrocol, consistente en provocar la reacción del CO y el H_2 a 300°C y 30 Kg/c^2 de presión, en reactores en los cuales los catalizadores de hierro se hallan suspendidos por la inyección de los gases. Sobre este diseño nació la hidrofuidización del carbón -en lechos fluidizados-, o sea la hidrogenación del carbón finalmente dividido suspendido por el H_2 insuflado a presión.

A su vez sobre este sencillo esquema, en los últimos años, especialmente en los Estados Unidos de Norteamérica, surgieron diversas patentes para elaborar desde petróleo crudo sintético hasta gas natural sintético a partir del carbón.

Entre las más conocidas para elaborar gas natural o metano sintético (syngas) tenemos el proceso Hygas del Institute of Gas Technology que opera directamente a 70 Kg/c^2 , o sea la presión de distribución del gas, el método CO_2 - Acceptor de la Consolidation Coal Company que opera a 21 Kg/c^2 de presión, y el pro

cedimiento ATGAS de Applied Technology Corporation, que a presión normal produce la gasificación instantánea del carbón molido a menos de 3 mm, inyectándolo con vapor de agua y caliza -para desulfuración- en un baño de hierro fundido. El costo de hidrogenación de lignitos baratos para obtener syngas, ya entra dentro de la franja de precio internacional del gas natural puesto sobre frontera.

Existen varias patentes de hidrogenación del carbón, CO_2 como las correspondientes a los procesos Synthoil del Bureau of Mines de los Estados Unidos de Norteamérica -hidrogenación en lecho fluidizado del carbón-, y H-Coal de Hydrocarbón Research de Nueva York. Con este último proceso se elabora crudo sintético (Synoil) inyectando en un sector con catalizadores suspendidos, un barro de carbón y aceites -que ulteriormente se recuperan- con H_2 . El crudo ulteriormente se trata en destilerías. Del carbón usado en el proceso un 35% es el transformado, un 40% se utiliza para elaborar H_2 en reacción con vapor, y un 25% se aplica para generar energía. En 1982 en Catlettsburg (Kentucky) entró en funcionamiento una planta de demostración de este proceso, de 480 K/d de carbón de capacidad, que registra el consumo de 2,85 toneladas de carbón por tonelada de gasolina y, subordinadamente, otros productos.

No solamente en los Estados Unidos de Norteamérica, sino también en la República Federal Alemana, Australia, China y Canadá existen plantas de ensayo de hidrogenación del carbón. En Rusia, con asesoramiento extranjero se han comenzado trabajos de investigación y desarrollo sobre este tema, en parte con relación a la puesta en marcha de los vastos depósitos de lignitos de Kansk-Achinsk de Siberia, para generación de electricidad y, en su momento, para elaboración de hidrocarburos sintéticos.

Una tecnología interesante es la del proceso COGAS de FMC Corporation, Steel Corporation, Rocky Mountain Energy Corporation y Tennessee Gas Pipeline Corporation. Del mismo existen sendas plantas de ensayo que tratan 100 t/d de car-

bón cada una en los Estados Unidos de Norteamérica y en Inglaterra. Es un proceso para elaborar crudo sintético (synoil) y gas natural sintético (syngas), en un sistema combinado de pirólisis e hidrogenación.

En casi todas las patentes el hidrógeno se obtiene por reacción del carbón o residuos del carbón con vapor, según la siguiente reacción:



Esta reacción es endotérmica. El calor es proporcionado por combustión de parte del carbón, por reacciones químicas e incluso se ha previsto proporcionar por energía nuclear.

En la elaboración de gas natural sintético mediante hidrogenación del carbón en lecho fluidizado, una variante interesante que está siendo explorada en la República Federal Alemana, es la preparación del H₂ necesario mediante la reacción metano-vapor con parte del metano producido. Por esta vía se prevé un rendimiento de 550 Nm³ de syngas por tonelada de carbón, que se podría elevar a 900 Nm³ de syngas por tonelada de carbón de usar una fuente térmica exterior, como la nuclear, para proporcionar el calor necesario para el desarrollo del proceso (hidrogenación xenotérmica).

Para completar el tema, cabría destacar que en los Estados Unidos de Norteamérica ya se han analizado varios emplazamientos de plantas, especialmente de syngas, que podrían erigirse en el futuro.

Dentro del campo de la hidrogenación se podría ubicar la tecnología de la extracción del carbón, consistente en hacer actuar sobre el carbón, sin presurización, un solvente con hidrógeno. El hidrógeno es transferido al carbón, obteniéndose un extracto parecido a la brea, que depurado y tratado, puede usarse como aceite pesado en centrales. Sobre este esquema de base (Pott-Broche) se han desarrollado varias patentes con distintos grados de hidroge

nación y productos resultantes, como la del National Coal Board de Inglaterra, Gulf (SRCIyII) y Exxon Corporation de los Estados Unidos de Norteamérica, que se ensayan en plantas de hasta 250 t/d de carbón.

Gasificación y síntesis

Esta es la otra gran línea de desarrollo carboquímico. Su historia arranca de 1923, cuando los químicos alemanes Franz Fischer y Hans Tropsch haciendo reaccionar monóxido de carbono e hidrógeno a 400-450°C y a 7 y 100-150 Kg/c² de presión obtuvieron hidrocarburos y compuestos químicos oxigenados. Precisamente el gas de reacción se denomina gas de síntesis (CO + 2 H₂), y el procedimiento se conoce como "síntesis Fischer-Tropsch".

El gas de síntesis inicialmente se obtuvo del gas intermedio (gas de agua), gasificando coque con aire-vapor en proceso alternativo o cíclico. Después de la Segunda Guerra Mundial, se lo ha venido obteniendo en escala comercial especialmente para elaborar amoníaco, con los gasificadores siguientes, que operan con O₂-vapor:

- Gasificador Luigi, de lecho fijo. Opera con carbones no aglutinantes, de calibres 9-25 mm, a 15-20 Kg/c² de presión. El gas producido es el siguiente:

CO	20%
H ₂	40%
CO ₂	30%
CH ₄	10%

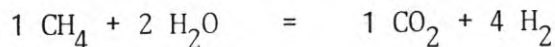
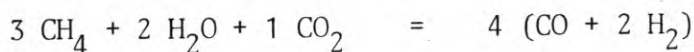
- Gasificador Koppers-Totzek. Opera con cualquier tipo de carbón pulverizado a 1 Kg/c² de presión. El gas producido, que se presta para reducción de mineral de hierro, es el siguiente:

CO	57% - 60%
H ₂	28% - 32%
CO ₂	8% - 11%
N ₂ + A ₂	1% - 1,5%
CH ₄	0,1%
SH ₂ + COS	menos 1,5%

Un tercer gasificador comercial es el Winkler, que opera con el carbón en lecho fluidizado, a presión atmosférica, usando también O₂-vapor, y generando un gas un tanto análogo al mencionado precedentemente. Una nueva versión de este gasificador es el Winkler de alta temperatura, que funciona a 11 Kg/c² y 1.100°C. Es versátil, de buen rendimiento, hallándose aún en etapa de investigación y desarrollo.

La gasificación con los mencionados gasificadores convencionales, se realiza mediante la combustión de un 40% del carbón. Precisamente, para esta combustión se trata de usar O₂, a fin de no agregar N₂ al gas resultante conforme resultaría de utilizarse aire. Esta gasificación denominada autotérmica, se trata de reemplazarla por una gasificación xenotérmica con aporte calórico exterior, y uso de vapor como agente gasificante. En la República Federal Alemana se estudia la posibilidad de aplicar para ese propósito la energía nuclear a 950°C, con He como medio calotransportante, en la gasificación del carbón en lecho fluidizado a 40 Kg/c², para elaboración de gas de síntesis. El procesamiento tiende a una mayor valorización del carbón como materia prima, una mayor eficiencia nuclear, una disminución de las emanaciones de CO₂, SO₂ y NO_x, y a un menor costo de producción en áreas con carbones relativamente caros.

Al gas de síntesis también comercialmente se la prepara, según la reacción metano-vapor.



La síntesis del gas de síntesis se realizan en reactores especiales a 200°C a distintas presiones, en presencia de catalizadores generalmente a base de cobalto o níquel. Según la presión de trabajo, así son los productos que se obtienen. A baja presión (vgr. 1 Kg/c²) privan los hidrocarburos, en cambio a alta presión (vgr. 24 Kg/c²) dominan los productos químicos oxigenados, como ácidos, alcoholes, ésteres, aldehidos, cetonas y éteres.

Reformando parte del gas de síntesis con vapor, se obtiene gas para elaborar gas natural sintético o syngas, según la reacción que sigue:



Para la elaboración del gas natural sintético, se presta el gas obtenido con el gasificador Lurgi, el que de por sí tiene un contenido interesante de metano. Precisamente un consorcio del que participa Cities Service de los Estados Unidos de Norteamérica, últimamente ha venido ensayando esta posibilidad en Westerfield, Escocia, en una planta de gas Lurgi (gas rico o de ciudad) que hace unos años debió dejar de operar como consecuencia de la depresión de los precios petroleros.

Características de las instalaciones

Con respecto a las plantas carboquímicas que se prevén para el futuro, se pueden considerar los siguientes aspectos:

- Emplazamiento. Contrariamente a lo que sucede con el esquema petrolero, las plantas carboquímicas se instalarán sobre o en las inmediaciones de grandes

yacimientos de carbón, transportándose los productos terminados. Los yacimientos en su mayoría serán ricos depósitos de carbón, barato, actualmente marginados por su elevado contenido de azufre. En el tratamiento carboquímico el azufre será recuperado y valorizado.

- Tamaño. A los efectos de aprovechar los beneficios de la economía de escala, se prevé que las futuras plantas integradas serán enormes, con una capacidad de procesamiento de 6 a 10 millones de toneladas año de carbón.
- Inversiones. Consecuentemente las inversiones, en las que las cargas financieras pueden fácilmente representar la mitad de los costos totales, se prevé que serán tremendamente pesadas. Los costos actualmente pueden estar dentro del orden de los que insumiría la industria química tradicional, los que resultan aún gravosos para satisfacer la elaboración de productos con destino energético. Se esperan progresos en las tecnologías básicas y en la catálisis que puedan mejorar la situación. Dependiendo esta última, en buena medida, de los precios en que en definitiva se sitúen los productos petroleros.
- Diseño. En sus resultados y su mayor flexibilidad operativa, es posible que la línea de la gasificación y síntesis domine sobre la de la hidrogenación. Ello comportaría la producción de combustibles sintéticos y de carboquímicos no aromáticos como el amoníaco, metanol, ácido acético, alcoholes primarios y olefinas correspondientes.

MERCADO CARBONERO

Como todo mercado, el del carbón es la puesta en contacto de una oferta y una demanda, con la subsecuente realización de transacciones a precios determinados. Siendo el carbón un producto industrial de base, las condiciones de funcionamiento de ese mercado deben tender a la realización de un óptimum económico global. Dicho mercado de por sí integra un sistema, que en definitiva se apoya en los dos aspectos fundamentales de toda política energética:

- Seguridad de abastecimiento.
- Precios razonables y estables.

Históricamente el carbón ha seguido la tendencia de la elasticidad mundial referente a consumo energético-producto bruto. Dicha elasticidad fue aproximadamente de 1,4 hasta 1914, de 1,0 entre 1914 y 1950, y de 0,7 desde 1950 a la fecha. Esta variación en buena parte se ha debido a los mayores rendimientos de utilización.

Transporte del carbón

El transporte juega en el mercado carbonero un rol importante. El costo del transporte representa en muchos casos, una fracción significativa del precio de venta del carbón en destino.

Los productos secundarios, con fuerte tenor de cenizas y humedad, son considerados desde el punto de vista económico como intransportables. Ellos normalmente se consumen en el lugar de producción, para satisfacer necesidades de la propia actividad minera o para la producción de electricidad con destino a la zona. Al respecto es interesante destacar que la reducción de consumo específico de las centrales térmicas, tiende a modificar de manera interesante la relación de costos de

transportes de productos secundarios y de electricidad. Otro tanto acontece con la variación de costos de transporte de electricidad, en función de las tensiones de trabajo.

De todos modos, en los casos donde la electricidad producida no debe ser transportada a gran distancia, el consumo de los productos secundarios en el lugar resulta aún la mejor solución.

Los carbones de calidad comercial, por el contrario, son transportados a veces a gran distancia.

La utilización de medios específicos de transporte, son una excepción. Entre estos medios podemos mencionar los telesféricos y los carbo ductos, que suelen recorrer distancias un tanto limitadas y con pendientes convenientes. Es conocido el carbo ducto de la Consolidation Coal Company de Pittsburg, capaz de transportar 3.700 t/d de carbón a lo largo de 180 Km, entre Georgetown y Cleveland. También es conocido el proyecto de transportar por carbo ducto unas 8.000 t/d de carbón, desde la cuenca del Ruhr al sur de Alemania.

En los carbo ductos el carbón generalmente menor de 0,5 mm de diámetro, es transportado suspendido en agua, existiendo la idea de reemplazar en un futuro el agua por metanol u otros subproductos líquidos ligeros obtenidos del propio carbón por procesamientos carboquímicos.

El carbón corrientemente es transportado por los siguientes medios convencionales:

- El ferrocarril
- La navegación fluvial
- La navegación marítima.

Dentro de un mismo país el transporte ferroviario y fluvial, generalmente con barcazas, suelen ser los medios más empleados, como se especifica para los siguientes países del Mercado Común Europeo.

	<u>Vía Férrea</u>	<u>Vía Fluvial</u>	<u>Vía Marítima</u>
Alemania	77%	22%	1%
Bélgica	62%	38%	-
Francia	83%	17%	-
Holanda	43%	53%	4%

Cuando coexisten las mencionadas vías de transporte, el tráfico se realiza en función de las características particulares de las instalaciones de expedición de las minas productoras, y de las instalaciones de recepción de los utilizados.

Las capacidades unitarias máximas de transporte se registran por vía marítima. Se trata de barcos graneleros autoestibantes generalmente de unas 60.000 toneladas de carga. Existen barcos de hasta el orden de las 150.000 toneladas, y aún más, que requieren puertos con instalaciones especiales para poder operar.

Los fletes ferroviarios y fluviales dentro de un país, suelen ser bastante estables. Los ferrocarriles transportan normalmente sobre la base de tarifas públicas y fijas. Los fletes de navegación fluvial suelen ser objetos de una reglamentación de precios, que conduce prácticamente a los mismos resultados. No ocurre lo mismo con el tráfico de esos medios en el orden internacional. Los precios en este caso son libres y sufren importantes fluctuaciones estacionales y coyunturales que alteran el equilibrio del mercado.

Las más graves dificultades provienen de las fluctuaciones de los fletes marítimos internacionales. Estos fletes son esencialmente especulativos, y muy sensibles a las coyunturas mundiales. Para amortiguar sus efectos, en Francia por ejemplo

plo, se creó en su momento una caja compensadora (ATIC).

El transporte es el factor que controla la denominada "área de servicio" de una mina o yacimiento, o sea el ámbito geográfico en que el carbón puede competir con otros productos. Esta área es dinámica, tendiendo a retraerse con el tiempo para cada unidad de explotación subterránea.

Aplicaciones y precios del carbón

El carbón se vende como materia prima o como agente térmico para producir calor.

El carbón que se vende como materia prima es casi exclusivamente el carbón para elaborar coque. Se trata de un carbón muy específico (con un 20-30% de materias volátiles sobre base pura) que prácticamente no tiene competencia. Su cotización se halla controlada por la capacidad de producir coque metalúrgico, de fundición o químico de características definidas. Ligada a la elaboración de coque se halla una carboquímica fatal, que se basa en el aprovechamiento de subproductos representados substancialmente por el alquitrán, bencol y gas. En el mundo el 20% de carbón producido se consumo como materia prima.

El carbón térmico se lo suele usar para producir vapor, y para calefaccionar hornos y ambientes. Soporta una fuerte competencia del fuel-oil y gas natural. Su cotización se basa en las calorías. Su mayor consumo se registra para producir vapor para generar electricidad. Un 50% del carbón producido en el mundo se destina a esta utilización.

Dado la fuerte competencia a que está sujeto el carbón térmico, a fin de fijar su grado de posibilidad comercial, para cada país o región se establecen los denominados "índices de indiferencia", que representan el límite en que a un utilizador le es indiferente usar carbón u otro combustible de competencia. Por ejemplo para el caso de un productor de electricidad, el "índice de indiferencia"

carbón-fuel oil indicará el límite en que, desde el punto de vista económico, a dicho productor le resultará indiferente usar cualquiera de esos dos combustibles. Para esta circunstancia, obviamente en paridad calórica el carbón debe ser más barato, porque tiene gastos extras de estiba, movimiento, molienda y evacuación de cenizas que deben ser descontados.

Para el Mercado Común Europeo, con criterio indicativo se han adelantado los siguientes "índices de indiferencia" para el sector industrial expresados según la relación fuel-oil (10.000 Kcal/Kg): carbón (7.000 Kcal/Kg):

- Grandes calderas	1,5 a 1,6
- Pequeñas calderas	1,6 a 1,9
- Hornos de cemento y de productos rojos	1,6 a 1,7
- Hornos de tratamiento térmico	1,8 a 2,4
- Hornos de vidrio y gasógenos	2,5 a 3,0

De acuerdo a este esquema, salta a la vista que la aplicación térmica en la que económicamente mejor puede competir el carbón, es en grandes calderas para producir vapor, precisamente para generar electricidad.

Los hornos rotativos de cemento constituyen un renglón comercial interesante, toda vez que en los mismos la ceniza del carbón se suma al clinker transformándose en cemento, lo que tiende a valorizar dicho residuo. Para que ello resulte posible, obviamente la composición de la ceniza debe ser adecuada.

Cualquiera sea el esquema de precios con que se maneje el carbón, a veces interesa conocer cómo inciden dichos precios en los valores de los productos terminados, sobre todo para apreciar las consecuencias de eventuales modificaciones de aquellos.

En la práctica dicha incidencia se suele calcular indirectamente sobre la base de la energía eléctrica producida. Las incidencias sobre los productos de esta energía en el Mercado Común Europeo, son las siguientes:

- Productos intermedios (siderúrgicos, pasta de papel, materiales de construcción, etc.)	30% - 18%
- Transportes (personas, mercaderías, comunicaciones, etc.)	18% - 5%
- Productos alimenticios (azúcar, conservas, etc.)	6% - 2%
- Productos terminados (máquinas, automóviles, productos farmacéuticos, etc.)	9% - 2%

Para concluir lo referente a aplicaciones comerciales del carbón, cabría agregar que en las centrales termoeléctricas un 90% de las cenizas del carbón tiende a irse por la chimenea en forma de "cenizas voladas". Estas cenizas para que no polucionen el medio son retenidas por ciclones y filtros electrostáticos. En los Estados Unidos de Norteamérica, Inglaterra, Francia, Alemania, Checoslovaquia y otros países, estas cenizas se venden valorizando comercialmente al carbón. Tales cenizas a veces reemplazan un 20% - 30% de cemento, mejorando sus cualidades para ciertas construcciones. Pueden servir también para fabricar cemento puzzolánico, agregados livianos para concretos, morteros alveolares y otros productos. También pueden usarse como espesador asfáltico para caminos. Ocasionalmente pueden ser fuente comercial de germanio, vanadio, litio o uranio.

Estructuras de mercado

En el carbón existen tres tipos de estructuras de mercado, que se mencionan a continuación.

- Mercado libre. Opera bajo el imperativo exclusivo de los precios, presuponiendo que los productos y usuarios actúan como unidades económicas independientes.

- Mercado programado. En el mismo periódicamente se programa, de manera indicativa, la producción y la venta.
- Mercado dirigido. Es un mercado rígido, en el que las producciones tienen un destino fijo.

Mercado libre existe en los Estados Unidos de Norteamérica. La razón de ese liberalismo -que en dicho país no existe para el petróleo- radica en la gran flexibilidad que tiene la industria del carbón a causa de la distribución y tipos de yacimientos. El 50% de la producción se realiza con unas 200 minas, en parte integradas con la industria siderúrgica. El 50% restante se satisface con unas 8000 minas, que se pueden abrir o cerrar sin mayores problemas dando gran flexibilidad al conjunto.

Mercado programado es el que funciona por ejemplo en Francia, donde el Charbonnage en France de manera indicativa coordina periódicamente las producciones y ventas de las distintas cuencas con las organizaciones de compra (SNCF, GDF, EDF, ORCIS). Las operaciones menores, se realizan directamente en las minas.

El mercado dirigido funciona en Rusia. Por su tradición histórica y las grandes distancias a cubrir -un 25% del carbón se consume en el transporte-, en este país existe un círculo cerrado minas-usuarios.

En el fondo cada tipo de mercado se halla diseñado por las condiciones naturales de sus yacimientos y la armadura industrial históricamente estructura en base a los mismos.

Sobre el mencionado esquema general existen los más diversos matices, en gran parte controlados por el grado de integración horizontal y vertical de la industria. En cualquier circunstancia, en la dinámica de mercado se trata de evitar la quiebra o la esclerosis industrial a que pueden exponer el liberalismo y el dirigismo, respectivamente.

Mercado internacional

A diferencia con el petróleo, sólo un 10% de la producción mundial de carbón se deriva al comercio internacional. De ese porcentaje la mitad aproximadamente corresponde a los carbones de coque.

A nivel mundial el comprador marginal y principal importador de carbón es Japón, que ingresa un 30% del volumen en movimiento internacional. Siguen Francia, Italia, Canadá, la región Belga-luxemburguesa, Israel y España, entre otros.

A nivel mundial el productor marginal y principal exportador de carbón son los Estados Unidos de Norteamérica. Este país tiene un 30% de las reservas y de la producción mundial de carbones de coque, que en buena parte destina a exportación. Estos son muy buenos carbones medio, alto y bajo volátiles, que egresan principalmente por la costa atlántica.

Canadá es un país importador-exportador. Importa principalmente de los Estados Unidos de Norteamérica. Tiene buenos carbones coquizantes bajo volátiles, que exporta a Japón por la costa del Pacífico.

Dentro del Mercado Común Europeo, se destaca Alemania por tener excelentes carbones coquizantes -pero con limitadas reservas-. Son carbones relativamente caros, que circulan dentro del Mercado.

En el Comecon, Polonia, con sus buenos carbones coquizantes alto y medio volátiles, es el gran exportador dentro y fuera del área. Rusia importa de Polonia, y a su vez exporta dentro del área y a Asia. Este país en verdad trata de consumir al máximo carbón, y exportar petróleo que es más manipulable y tiene mayor concentración calórica que el carbón.

Australia posee carbones coquizantes, cenizosos, que exporta a Japón. Sudáfrica tiene carbones baratos, de calidad variable, que con destino térmico y para coque exporta a varios países.

En los próximos años Colombia se va a transformar en un importante exportador de carbón. El proyecto colombiano-norteamericano de explotación del carbón térmico del yacimiento El Cerrejón, de la Península de Guajira, se halla en plena marcha. De este yacimiento se prevén extraer unas 15 millones de toneladas anuales, que en su mayor parte se derivarían al sur de los Estados Unidos de Norteamérica.

Inestabilidad de mercado

El mercado del carbón, como en general todo el mercado energético, se caracteriza por su permanente inestabilidad. Es altera favorable o desfavorablemente por áleas climáticos, coyunturas económicas más o menos cíclicas, y aún por crisis que pueden incidir en aspectos de la propia estructura del mercado.

Las principales crisis sufridas por el carbón fueron las siguientes:

- 1929-35. Con abundante cierre de minas especialmente en Europa, por la retracción económica.
- 1957-62. Crisis petro-carbonera, motivada por el conflicto del Canal de Suez. Como consecuencia de este conflicto la industria del petróleo se sobredimensionó, presionando sobre el carbón principalmente en Europa. En esta crisis en Europa se evitaron cierres masivos de minas, jugando con la importación procedente de los Estados Unidos de Norteamérica, de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$\text{Producción} + \text{Importación} = \text{Consumo Aparente} + \text{Exportación} \pm \text{Va. Stock.}$$

- 1973-78. Crisis que tuvo sus atisbos en 1969 con un defecto físico de carbón en los Estados Unidos de Norteamérica, y remató con la insólita suba de los precios del petróleo, con las consecuencias que conocemos.

Durante las fluctuaciones de mercado, en las épocas de euforia tienen a inflarse los stocks y en las épocas de depresión tienden a comprimirse, complicando sobremanera los mecanismos de ajuste. Un fenómeno importante en la dinámica de mercado, es el impacto de un nuevo energético -vgr. gas natural- que irrumpe en el mismo. Conforme con la conocida regla de Gardent: "dicho energético al principio tiende a cubrir necesidades insatisfechas, y luego presiona sobre el conjunto promoviendo su especialización hacia formas energéticas cada vez más elaboradas y standarizadas".

SITUACION LATINOAMERICANA DEL CARBON

En lo que sigue, se adelanta una apretada síntesis sobre cantidades, calidades, distribuciones y producciones de carbones latinoamericanos.

ESTRUCTURA DEL RECURSO CARBONIFERO

A continuación se consignan las reservas -y recursos- de distintos países de la región desagregadas en medidas, indicadas y deducidas o inferidas, adicionándose para mejor ilustrar también las existencias potenciales que involucran tanto las hipotéticas, como las netamente marginales desde el punto de vista económico.

Los valores correspondientes fueron discutidos en el V Congreso Latinoamericano de Geología, realizado en Buenos Aires en 1982. Dichos valores fueron últimamente actualizados en millones de toneladas, de la manera que sigue:

	Reservas (A)			Recursos (A+B)
	Medidas + Indicadas	Inferidas	Potenciales (B)	
México	581	1.704	2.600	4.885
Colombia	7.000	9.500	23.500	40.000
Venezuela	486	1.097	3.750	5.333
Perú	135	597	182	914
Brasil	6.903	15.893	-	22.796
Chile	274	432	5.195	5.901
Argentina (1)	501	83	7.350	7.934

(1) YCF (1987)

Fuentes: ILAFA - U.S. Bureau of Mines (1985).

El recurso global suma 66.907 millones de toneladas, valor éste superior al estimado por la Conferencia Mundial de la Energía (1977) que se ciñó más al mineral identificado.

Del resto de los países de Latinoamérica sólo se tienen conocimientos ocasionales o fragmentarios. En América Central existen lignitos especialmente en Costa Rica y Panamá, y carbones bituminosos particularmente en Honduras. En Ecuador se han registrado desde lignitos hasta antracitas, siendo al parecer dominantes los primeros, de los que se han apreciado globalmente algunas decenas de millones de toneladas. En Bolivia existen antracitas sobre el Lago Titicaca y carbones lignitosos en Cochabamba y Tarija. En el Uruguay alcanzan a penetrar niveles del Cinturón Carbonífero Brasileño, etc. El conocimiento de estos carbones se estima que resulta aún insuficiente para constituir reservas formales.

En el mapa de Anexo 7 se señala la ubicación de los principales depósitos.

TIPOS Y CALIDADES DE CARBONES

En lo que sigue, se tratará de discernir las reservas de acuerdo a cuatro tipos fundamentales de carbones: antracitas, carbones bituminosos, subbituminosos y lignitos. A tal efecto,

- se indican en orden de edades las regiones carboníferas o depósitos característicos;
- se señalan los carbones que integran las reservas (R);
- se adelanta una estimación muy generalizada del poder coquizante, por su significación en lo que respecta a la aptitud de aglutinación, calificando los carbones en no coquizantes (N) carentes prácticamente de hinchamiento, semi-coquizantes (S) con un Índice de Hinchamiento (libre) de hasta aproximadamente 3, y coquizantes (C) con un Índice de Hinchamiento (libre) superior a 3.

La escala de Índice de Hinchamiento (libre), que da una idea sobre el poder de aglutinación y por ende de coquización de los carbones, va de 0 a 9. Para la circunstancia se ha tomado un límite entre carbones semicoquizantes y coquizantes relativamente bajo (= 3). La razón de ello obedece a que con los recursos tecnológicos actuales, sobre todo basados en los efectos de la densificación de carga de los hornos, es posible estimular las aptitudes coquizantes de los carbones de tal manera que carbones con un Índice de Hinchamiento (libre) relativamente bajo, ya pueden incorporarse en cantidades interesantes en las mezclas de carbones a coquizar.

A los efectos de definir con algún detalle la calidad del mineral, se agregan datos analíticos básicos.

México

	<u>Antracitas</u>	<u>C. Bituminosos</u>	<u>C. Subbitum.</u>	<u>Lignitos</u>
Terciario Sup.				Tehuichila N
Eo-mioceno			Colombia	N
Cretácico Sup.		Coahuila		C
Jurásico Medio		Oaxaca		N-S
Tria-Jurásico	Sonora			N
	R	R	-	-

La reserva se halla integrada por antracitas y carbones bituminosos. Se sabe de la existencia de carbones subbituminosos en la cuenca de Colombia (N.L.), Yahualica y Chicontepec (Ver.), Zacualtipan (Ngo.) y Tamazunchales (S.L.P.). Se conocen depósitos de lignitods y/o turbas en Tehuichila y Zacualtipan y San Miguel (Edo. de Hidalgo), Chalco (Edo. de México) y otras localidades.

El mineral de Sonora (Sta. Clara), presenta las siguientes características medias:

Humedad %	8,80
Cenizas s/seco %	11,60
Materias volátiles s/puro %	5,95
Carbono fijo s/puro %	94,05
Azufre %	0,36
PCS Kcal/Kg.	6334

En la región de Oaxaca (Mixtepec), el carbón responde en promedio a los valores siguientes:

Humedad %	9,23
Cenizas s/seco %	42,40
Materias volátiles s/puro	34,00
Carbono fijo s/puro %	66,00
Azufre %	n.d.
PCS Kcal/Kg.	3925

El carbón de Coahuila por sus aptitudes coquizantes se lo explota para la industria siderúrgica, que es la actividad que tradicionalmente ha promovido la producción de carbón del país. El mineral bruto tiene hasta un 35% de cenizas, de las cuales un 50% de cenizas son intrínsecas, depuñandose a un 16% de cenizas s/seco con un 11% de humedad para incorporarlo a las pastas de coque. Un análisis representativo de carbón bruto de Sabinas, es el siguiente:

Humedad %	4,0
Cenizas s/seco %	24,0
Materias volátiles s/puro %	27,4
Carbono fijo s/puro %	72,6
Azufre %	1,2
PCS Kcal/Kg.	6344
Indice de Hinchamiento	7-9

Se trata de un carbón bituminoso de mediana volatilidad.

Colombia

	<u>Antracitas</u>	<u>C. Bituminosos</u>	<u>C. Subbitum.</u>	<u>Lignitos</u>	
Terciario Sup.				Antioquia	N
Oligoceno Sup.			Amagá		N
Eo-oligoceno		Cali			C-N
Eoceno			El Cerrejón		S
Paleoceno			Cúcuta		C-S
Cretácico Sup.			Bogotá		C
Cretácico Sup.	Landázuri				N
	R	R	R	-	

La reserva carbonífera colombiana, está integrada por antracitas, carbones bituminosos y subbituminosos. Se conocen numerosas manifestaciones de lignitos en los Departamentos de Antioquia, Caldas, Cauca y Córdoba.

Buenos carbones coquizantes se encuentran en la zona de la Sabana de Bogotá, o más propiamente dicho en el sinclinal de Lenguaque con los bloques de Sutatausa, Lenguaque, Guachetá y Samcá, donde aparecen de 8 a 15 mantos de 0,5 a 2,5 m de espesor. En la Mina La Ramada -Manto 5- el mineral ostenta las siguientes características determinadas por el Instituto de Investigaciones Tecnológicas de Bogotá:

Humedad %	0,7
Cenizas s/seco %	7,6
Materias volátiles s/puro %	32,3
Carbono fijo s/puro %	67,7
Azufre %	0,6
Indice Hinchamiento	8,5

En la zona de Cúcuta, al Norte de Santander, siguen los carbones de este tipo, pero en general con aptitudes coquizantes al parecer algo inferiores. En el manto 1 de la Mina Maturín, se registra v.gr. un Índice de Hinchamiento de 4-5. En El Cerrejón este Índice desciende a niveles 2 ó 3.

En la zona de Cali, en el valle de Cauca los Índices de Hinchamiento varían entre distantes extremos. Seguidamente se adelantan datos analíticos correspondientes a una semiantracita y a un carbón bituminoso medio volátil.

	<u>Mina La Riverita</u> (M.1)	<u>Mina El Palmar</u> (M.3)
Humedad %	0,6	1,0
Cenizas s/seco %	21,0	5,7
Materias volátiles s/puro %	12,4	30,5
Carbono fijo s/puro %	87,6	69,5
Azufre %	4,2	1,2
Índice de Hinchamiento	1	9

Los minerales de Landázuri y de Amagá -no metamorfoseados- corresponden a los tipos extremos que integran la reserva colombiana, careciendo prácticamente de aptitudes coquizantes. Dichos minerales, responden a las siguientes características:

	<u>Landázuri</u>	<u>Amagá</u>
Humedad %	2	7,5
Cenizas s/seco %	3-6	3-6,5
Materias volátiles s/puro %	9-15	43-47
Carbono fijo s/puro %	85-91	53-57
Azufre %	0,8	1

Venezuela

	<u>Antracitas</u>	<u>C. Bituminosos</u>	<u>C. Subbitum.</u>	<u>Lignitos</u>	
Oligomioceno	-	Anzoátegui	-	-	C
Paleoeoceno	-	Táchira	-	-	C
Paleoeoceno	-	Zulia	-	-	
	-	R	R	-	

La reserva venezolana es en su casi totalidad bituminosa. Por la composición geológica del país, se puede pensar en la potencial existencia de los otros tipos de carbones.

Las características de los carbones conocidos, se hallan dentro del orden de las que se indican a continuación:

	<u>Anzoátegui</u> (Naricual, SMIO)	<u>Táchira</u> (Lobatera)	<u>Zulia</u> (Guasare)
Humedad %	2,61	1,90	8,34
Cenizas s/seco %	4,72	6,10	3,99
Materiales volátiles s/puro %	49,70	44,70	43,50
Carbono fijo s/puro %	50,30	55,30	56,50
Azufre %	2,20	0,50	1,70
PCS, Kcal/Kg.	7550	7650	7400
Indice de Hinchamiento	5,5	5,0	6,5

Por su composición y base calórica, se trata de carbones bituminosos de alta volatilidad.

Perú

	<u>Antracitas</u>	<u>C. Bituminosos</u>	<u>C. Subbitum.</u>	<u>Lignitos</u>	
Mioceno				Tumbes	N
Cretácico		Jatunhuasi			C
Cretácico inf.	Santa				N
Jurásico		Oyón			C-N
	R	R	R	R	

La reserva de Perú se halla integrada por antracitas, carbones bituminosos, lignitos y presumiblemente por carbones subbituminosos. Seguidamente se adelantan características representativas de los carbones.

	<u>Santa</u>	<u>Jatunhuasi</u>	<u>Tumbes</u>
Humedad %	4,6-6,0	6,0-10,0	9,0-18,0
Cenizas s/seco %	7,5-12,5	6,5-22,0	23,5-42,0
Materias volátiles s/puro %	3,5-7,0	41,0-49,0	50,0-59,0
Carbono fijo s/puro %	93,0-96,5	51,0-59,0	41,0-50,0
Azufre %	0,5-1,0	0,6-2,0	4,0-5,0
Indice de Hinchamiento	-	3-7	-
PCS Kcal/Kg	6000-75000	5000-7000	2700-4300

El mencionado yacimiento bituminoso, parece contener facies subbituminosas. El yacimiento de Oyón tiene antracitas de 7000-7600 Kcal/kg y carbones bituminosos bajo y medio volátiles, con 5% a 10% de cenizas y un indice de Hinchamiento de 2,5 a 9.

Brasil

	<u>Antracitas</u>	<u>C. Bituminosos</u>	<u>C. Subbitum.</u>	<u>Lignitos</u>
Plioceno				Alto Amazonas N
Pérmico Inf.			R. Grande do Sul	N
Pérmico Inf.		Sta. Catarina		C-S
Pérmico Inf.		Paraná		S
Eopaleozoico	Río Fresco			N
		R	R	-

La reserva brasileña parecería caracterizarse genéticamente por su limitada subsidencia. Los contenidos bituminosos, a veces con aptitudes coquizantes, podrían hallarse controlados por efectos termometamórficos en conexión con las efusiones básicas de la cuenca del Paraná.

A continuación se agregan datos analíticos de los referidos carbones.

	<u>Río Grande do Sul</u>	<u>Sta. Catarina</u>	<u>Paraná</u>
Humedad %	14,90	3,20	2,36
Cenizas s/seco %	50,30	33,40	22,64
Materiales volátiles s/puro %	44,50	39,00	38,40
Carbono fijo s/puro %	55,50	61,00	61,60
Azufre %	2,04	5,50	10,10
PCS Kcal/Kg.	2880	5000	5626

Son carbones en general cenizosos y con alto tenor de azufre. El carbón de Río Grande do Sul corresponde a una muestra media de Mina Candiota, siendo un subbi-

tuminoso B de ASTM. El carbón de Santa Catarina corresponde a la camada coquizante de Barco Branco y el de Paraná a la Mina Río de Peixe: ambos son bituminosos, aproximadamente alto volátiles B de la referida clasificación.

Chile

	<u>Antracitas</u>	<u>C. Bituminosos</u>	<u>C. Subbitumin.</u>	<u>Lignitos</u>	
Terciario Sup.				Tierra del Fuego	N
Terciario				Magallanes	N
Mioceno		Valdivia			N
Eo-paleoceno		Arauco-Concepción			C-S
Triásico	La Ternera				N
	-	R	R	-	

La reserva chilena se halla integrada por carbones bituminosos y subbituminosos. Los lignitos corresponden a la formación El Salto del subsuelo de la Isla Grande de Tierra del Fuego, y las antracitas a depositaciones triásico-continetales de La Ternera (Copiapó), Quilacoya (Concepción) y Nielol-Huinpil (Cautín), afectadas por fuertes disturbaciones-geológicas.

Seguidamente, se transcriben datos analíticos de los carbones de las áreas de reserva.

	<u>Arauco-Concepción</u>	<u>Valdivia</u>	<u>Magallanes</u>
Humedad %	2,65	15,0	17,00
Cenizas s/seco %	6,35	16,50	12,30
Materiales volátiles s/puro %	43,40	50,50	47,20
Carbono fijo s/puro %	56,70	49,50	52,80
Azufre %	1,30	0,50	0,40
PCS Kcal/Kg	7650	4775	5045

El carbón de Arauco-Concepción, corresponde a una muestra del manto 5 de la Mina Schwager, siendo un carbón bituminoso alto volátil A. El carbón de Valdivia es de Pupunahue y el de Magallanes, de la Isla Riesco; ambos carbones son subbituminosos B, según ASTM.

Argentina

	<u>Antracitas</u>	<u>C. Bituminosos</u>	<u>C. Subbitum.</u>	<u>Lignitos</u>
Terciario Sup.				R. Subandina y Patag. N
Terciario			R. Surpatag.	N
Eo-oligoceno		R. Norpatagónica		C-N
Neopaleozoico/Triásico		R. Noroccid.		S
Neopaleozoico/Jurásico	R. Occidental			N-S
	R	R	R	-

La reserva argentina en su casi totalidad se halla concentrada en el yacimiento de Río Turbio de la Región Surpatagónica. Sigue en un orden muy subordinado el depósito bituminoso de Pico Quemado de la Región Norpatagónica. De antracitas sólo se han cubicado 100.000 toneladas en Mina Cervantes, de la Provincia de Mendoza.

A continuación se adelantan datos analíticos medios de los carbones brutos más representativos:

	<u>Río Turbio</u>	<u>Pico Quemado</u>
Humedad %	12,0	4,0
Cenizas s/seco %	35,0	30,0
Materias volátiles s/puro %	48,0	44,0
Carbono fijo s/puro %	52,0	56,0
Azufre %	0,8	0,6
PCS Kcal/Kg.	4150	5250
Indice de Hinchamiento	0-0,5	5

REGIONES CARBONIFERAS Y PRODUCCIONES

A continuación se comentan las principales regiones con carbón de los países con reservas determinadas, y el nivel de producción global de dichos países.

México

En este país existen tres regiones carboníferas definidas: las de Coahuila, Sonora y Oaxaca.

La región de Coahuila en el noreste del país, corresponde a una cuenca deposicional Maestrichtense en la que se formaron hacinamientos de carbón, siendo de particular interés el denominado "doble manto" que puede ser explotado económicamente cuando ostenta un espesor de 1.80 a 2.00 m y la intercalación de estéril que lo escinde no pasa de 0.20 a 0.30 m. La región consta de ocho subcuencas, que corresponden a suaves sinclinales con rumbo noreste, de las cuales las más importantes son Sabinas, Esperanza y Saltiliito de donde proviene la casi totalidad de la producción carbonífera mexicana.

En la región de Sonora, al noroeste del país, y más propiamente en San Marcial, Santa Clara y San Javier, existen carbones supratriásicos-infraciásicos, muy disturbados y afectados por un intenso metaformismo, que en parte los transformaron en grafito. Oaxaca, en la parte austral de México, cuenta especialmente en Mixtepec-El Consuelo-Tezoatlán con carbones mesojurásicos, lenticulares, con espesores desde centímetros hasta 3 m, muy afectados por deformaciones tectónicas e inyecciones magmáticas.

La producción de carbón de México es la más elevada de Latinoamérica, superando los 8.000.000 de toneladas por año. Tal producción proviene en su casi totalidad de la región de Coahuila, y particularmente de las cuencas de Sabinas, Es-

pehuela y Saltillito. El grueso de esta producción se destina a la siderurgia, siendo ésta última industria la que tradicionalmente ha regulado la producción de carbón.

Colombia

En Colombia se determinaron, con criterio geográfico, cinco regiones carboníferas.

La región del Pacífico, muy poco estudiada, con manifestaciones en los Departamentos de Cauca y Chocó. La región del Río Cauca, que se extiende desde la costa Atlántica hasta Ecuador, con lignitos y semiantracitas en Antioquía, y carbones subbituminosos y bituminosos en Valle y Cauca. La región de los ríos Magdalena-César que se propaga en el flanco oeste de la Cordillera Oriental, con antracitas en Landázuri y carbón bituminoso altovolátil en La Jagua y el Correjón. La región de Bogotá-Sogamoso-Cúcuta, de 400 km de longitud, en la que se presentan los mejores carbones coquizantes. Finalmente, la región Preandina, poco conocida, que corresponde al flanco este de la Cordillera Oriental, con afloramientos en Caquetá, Meta y Casanare.

La producción carbonífera colombiana es del orden de las 6.500.000 toneladas anuales, provenientes en buena parte de numerosas pequeñas minas ubicadas en los flancos de la Cordillera Oriental desde Bogotá a Cúcuta. Esa producción se destina a la Acería de Paz del Río, y el resto al mercado termoeléctrico, ferroviario, industrial y doméstico.

Colombia tiene buenos carbones, con interesantes posibilidades de desarrollo minero conforme se resuelva la infraestructura del transporte, especialmente para los carbones coquizantes de la región Bogotá-Lenguazaque.

Actualmente se halla en desarrollo el yacimiento de carbón El Cerrejón ubicado en el Departamento de la Guajira, a unos 150 km de Bahía Portete sobre el Mar

Caribe, donde se construye un puerto que permite operar barcos de 150.000 toneladas para exportar el mineral. El yacimiento, que cubre unas 70.000 hectáreas, en su parte norte es explotado por un consorcio integrado por Carbocol (ente estatal) e Intercor (filial de Exxon Corporation). Se prevé llegar a una producción de 15 millones de toneladas por año, en su casi totalidad con destino a la exportación.

Venezuela

Posee tres regiones carboníferas definidas. La región de Anzoátegui en el noreste del país, en la que se encuentra la Mina de Naricual con carbón oligo-mioceno, en varios mantos de 0.70 a 2.10 m de espesor. La región de Táchira en la parte occidental del país, en la que se halla la Mina Lobatera, con dos buenos mantos infraterciarios de 2.00 y 1.50 m de potencia. La tercera región, con carbones paleo-eocenos, es la de Zulia, ubicada unos 80 km al oeste de Maracaibo, en la que se han diferenciado dos áreas de interés económico: el área de Paso Diablo prevista explotar a cielo abierto con un espesor promedio acumulado de 18 m, y el área de Río Sucuy-Caño Seco, al sur del anterior, que se tiene en vista explotar subterráneamente, con un espesor acumulado de carbón de 40 m comprobado hasta los 400 m de profundidad.

Venezuela por el momento sólo tiene una pequeña producción de carbón del orden de los 50.000-100.000 toneladas año, en la región de Táchira para la industria del cemento. Por intermedio de Corpozulia está encarando el desarrollo minero de la región de Zulia, con carbones similares a los colombianos.

Perú

En el Departamento de Lima, existe el depósito jurásicocotitónico de Oyón, con cuatro mantos coquizantes, de 1 a 2 m de espesor, en la zona de Pampahuay, y semiantracitas en el área de Gazama. Carbón coquizante, en mantos de escasa po-

tencia, también existe en el depósito de Jatunhuasi del Departamento de Junín. Antracitas cretácicas aparecen en los Departamentos de Cajamarca, con los depósitos de Piñapata y Cupisnique; de La Libertad, con los depósitos de Alto Chicama; y de Ancash, con los depósitos -entre otros- del Santa, con varios mantos de 0.30 a 7.00 m de espesor.

En la provincia de Tumbes, se han localizado cuatro mantos subhorizontales de lignito de 1 a 4 m de potencia. Este tipo de carbón ha sido encontrado en la Amazonia Peruana, a 230 km de Iquitos, en perforaciones para petróleo a unos 450 m de profundidad.

Perú tiene una producción limitada principalmente de antracita, del orden de las 50.000-100.000 toneladas por año. Se estudian planes de expansión para abastecimiento termoeléctrico y siderúrgico.

Brasil

En este país, han sido identificadas cinco regiones carboníferas.

La región de Alto Amazonas, donde se localizaron mantos de lignitos pliocenos de hasta 1.50 m de espesor. La región de Río Fresco, en la que se encontró carbón Eopaleozoico de 1 m de espesor, con alto tenor de vanadio y germanio. La región de Tocantins-Araguaia. La región de Piauí, a igual que la anterior, con someras manifestaciones de edad carbonífera. Finalmente, la región Meridional al sur del país, donde aflora carbón gondwánico del Pérmico inferior entre el Escudo Cristalino de la costa y la platea basáltica del Paraná. En Río Grande do Sul existen los yacimientos de Candiota, donde se explota a cielo abierto un manto de 4.20 m de espesor, Iruí, Leao Dutí y Charqueadas, estos dos últimos con mantos de 1,30 y 1,40 m de espesor que se trabaj subterráneamente. En Santa Catarina, existe el carbón coquizable de Barro Branco, que se usa en un 20% en las pastas para coque de Volta Redonda. Finalmente, en Paraná se hallan los yacimientos Río do Peixe y Río Tibagi, con sendos mantos de 1 m de espesor.

Brasil produce unas 7.500.000 toneladas por año de carbón, procedentes del Cordón Carbonífero de Río Grando do Sul, Santa Catarina y Paraná. Esa producción se destina a la siderurgia y subsecuentemente a la producción de vapor. Ha iniciado trabajos de investigación y desarrollo en la transformación del carbón, para ir superando su dependencia del fuel-oil importado.

Chile

Posee tres regiones carboníferas definidas. La región de Arauco-Concepción con varios mantos de carbón de 0,70 a 1,80 m de espesor intercalados en los miembros Lota y Colicó de la formación Curanilahue del Eoceno inferior, y la formación Trihuco del Eoceno medio (sector Lebu); los carbones a veces acusan aptitudes coquizantes, utilizándose hasta un 60% en las mezclas para hacer coque. La región de Valdivia-Osorno-Llanquihue, con carbones miocenos poco estudiados. La región de Magallanes en la parte austral del país, con la mayor cantidad de mineral estimado. En esta última región existen dos series carboníferas terciarias: una con carbones subbituminosos, de probable edad oligocena vinculada con la formación Loreto, y otra más joven, no computada en las reservas, de lignitos de la formación El Salto yacente en el subsuelo de la Isla Grande de Tierra del Fuego.

En Chile la producción de carbón es del orden del millón de toneladas anuales, provenientes en su casi totalidad de la región de Arauco-Concepción. El futuro carbonífero de este país parece que se concentrará en la región de Magallanes, donde además existe petróleo y gas natural. Una alternativa en estudio es elaborar gasolina a partir del gas natural con el proceso Mobil MTG, y proseguir con esta síntesis selectiva a partir del metanol a obtener del carbón cuando se vayan agotando las reservas de gas.

Argentina

Se han identificado las siguientes regiones carboníferas, que se propagan en los ambientes cordilleranos y precordilleranos.

La región Subandina, en el norte, con someras manifestaciones de lignitos neógenos. La región Noroccidental, con carbones bituminosos noepaleozoicos y triásicos, en hacinamientos lenticulares que yacen en La Rioja y alrededores. La región Occidental, con asomos bituminosos y antracitosos en Mendoza y Neuquén. La región Norpatagónica que en Río Negro, por efectos termometamórficos, posee carbones eocénicos bituminosos como el de Pico Quemado. La región Surpatagónica, reológicamente vinculada con la región de Magallanes de Chile, en la que se encuentra el yacimiento de Río Turbio, que se explota subterráneamente y consta de cuatro mantos de carbón subbituminoso con un espesor promedio del orden de 1,80 m. Sobre esta serie carbonífera, como en Chile, sigue otra más joven de carbones lignitosos, que recientemente fue localizada por medio de perforaciones, a la altura del Río Cuylo sobre la costa atlántica.

La Argentina produce unas 500.000-600.000 toneladas año de carbón en el yacimiento fiscal de Río Turbio, ubicado en el extremo suroccidental de la Provincia de Santa Cruz, a los 52° de latitud. El mineral se aplica para producir electricidad, y en pequeñas cantidades también para agregar a las pastas de coque, en la Zona del Litoral (Buenos Aires, San Nicolás).

BIBLIOGRAFIA

- Agence Internationale de l'Energie, 1978. Le charbon vapeur (perspectives jusqu' a l'an 2000). París.
- Astier, Jaques, 1976. Posible importancia del carbón y de los productos de su gasificación en la reducción directa de los minerales de hierro. Siderurgia Latinoamericana (ILAFA), n° 196. Chile.
- Bergman, Federico A.J., 1982. Calidad de los carbones de la reserva latinoamericana. Quinto Congreso Latinoamericana de Geología, Actas III. Buenos Aires.
- Bergman, Federico A.J. y Xicoy, Aldredo N., 1981. Reseña sobre el potencial carbonífero argentino. Ciencia Energética. XII. N° 38. Buenos Aires.
- Bernet, H.G., 1976. Incremento de la utilización de carbones poco coquizantes para la producción de coque de alto horno. Usos del carbón en siderurgia (ILAFA). Chile.
- Borello, Angel V., 1956. Recursos minerales de la República Argentina. III, Combustibles sólidos minerales. Inst. Nac. de las Ciencias Naturales, Rev. Buenos Aires.
- Boyer, A.F., 1977. Avenir de la carbochimie. R. de l'Energie. París.
- Coal Exploration, 1978. Proceedings of the second International Coal Exploration Symposium. Ed. G.O. Argall Jr. Denver (Colorado).

- Conférence Mondiale de l'Energie, 1977. Rapport de la Commission de Préservation. Londres.
- Cónsoli, R., 1978. Generalidades sobre carbones minerales - carbones argentinos. Publ. Y.C.F., Buenos Aires.
- Cuerda, Alfredo, 1972. Estudio de desarrollo Y.R.T.-Plan 3.000.000 t/a - Informe geológico. Inf. Y.C.F. N° 934 (inéd.). Buenos Aires.
- Ellie, G., 1977. Evolution prévisible des techniques d'exploitation dans les grands pays charbonniers. R. de l'Energie. París.
- Escudero Ratto, J., 1976. Reservas Carboníferas peruanas. Usos del carbón en siderurgia. ILAFA. Santiago de Chile.
- Filippini, J.R. y Orlandino, J.C., 1963. Características de los combustibles sólidos nacionales. Inf. Téc. Y.C.F. N° 56 (inéd.) Buenos Aires.
- Foch, P., 1977. Fabrication du coke: coke métallurgique, coke de fonderie, coke moulé. R. de l'Energie. París.
- Francis, W., 1969. Los combustibles y su tecnología. Ed. Urmo, Bilbao.
- Freund, H., 1952. Handbuch der Mikroskopie in der Technik. Band II, Teil I. Frankfurt A.M.
- Gardent, P., 1962. Le charbon (panorama économique). París.
- Gibson, J., 1978. The constitution of coal and its relevance to coal conversion processes. Fuel N° 470. London.

- Gothan, W., 1937. Die Lagerstätten der Nutzbaren Mineralien und Gesteine (L. Teil: Kohle). Stuttgart.
- Hydrocarbon Research Inc. 1949. Utilización del carbón de la Mina Río Turbio. Inf. para Comisión Naval Argentina. (inéd.). N. York.
- Ihnatowicz, M., Bronislaw, M et al., 1975. Estudio de utilización del carbón del Yacimiento Río Turbio de Argentina para la hidrogenación. Inst. Central de Min. e Inst. de Carboquímica de Polonia (inéd.). Wyri.
- Ippolito, M., 1977. L'utilisation du charbon dans les centrales. R. de l'Energie. París.
- Kreulen, D.J.M., 1935. Grundzuge der chemie und Systematik der Kohle. Amsterdam.
- Ledent, P., 1977. Gazeification souterraine du charbon. R. de l'Energie. París.
- Little, A., 1982. A current apraisal of underground coal gasification. Springfield.
- Lowry H.B., 1963. Chemistry of coal utilization. N. York - London.
- Lurgi Ruhrchemie A.G., 1950. Informe relativo a la explotación de Río Turbio. Inf. inéd. (Y.C.F.). Frankfurt A.M.
- Lurgi Ruhrchemie A.G., 1954. Informe referente a los ensayos de 150 toneladas de carbón procedente del manto Dorotea del Yacimiento Río Turbio. Inf. inéd. (Y.C.F.). Frankfurt A.M.
- Machado, E.R., 1976. Reservas brasilerias de carvao. Usos del carbón en siderurgia. ILAFA. Santiago de Chile.

- Macrae, J.C., 1966. An introduction to the study of fuel. Elsevier, N. York.
- Maerks-Ostermann, 1962. Mecánica aplicada a laboreos de minas. Barcelona.
- Matyas, R.S. y Pterson W.J., 1981. Hydropirolisis of Rio Turbio subbituminous coal. Inf. inéd. (C. Serv.). Tulsa.
- Ministerio de Minas y Petróleo de Colombia, 1974. Carbones de Colombia. Bogotá.
- Miller R., Kneuper G., 1971. Fracturation hydraulique des terrains houillers a la mine de Luisenthal. Luxembourg.
- Soré J.C., 1977. Ressources charbonnieres mondiales et role du charbon dans l'économie énergétique de la fin du siecle. R. de l'Energie. París.
- Stuffken J., Wetzels F.J., 1974. Die Untertagevergasung von Steinkohle. Gluckauf, Essen.
- Soudet, P., 1977. Commerce international du charbon. R. de l'Energie. París.
- Thompson, P.N., Mann J.R., et al., 1976. Underground gasification of coal. N. Coal Board. London.
- UNESCO, 1983. Coal utilization. París.
- Van Krevelen, D.W., 1961. Coal (typology-chemistry-physics-constitution). Elsevier, Amsterdam.
- Vidal, V., 1961. Exploitation des mines. Dunod, París.

CLASIFICACION DE CARBONES POR RANGO ASTM
(SUSTANCIA LIBRE DE MATERIA MINERAL)

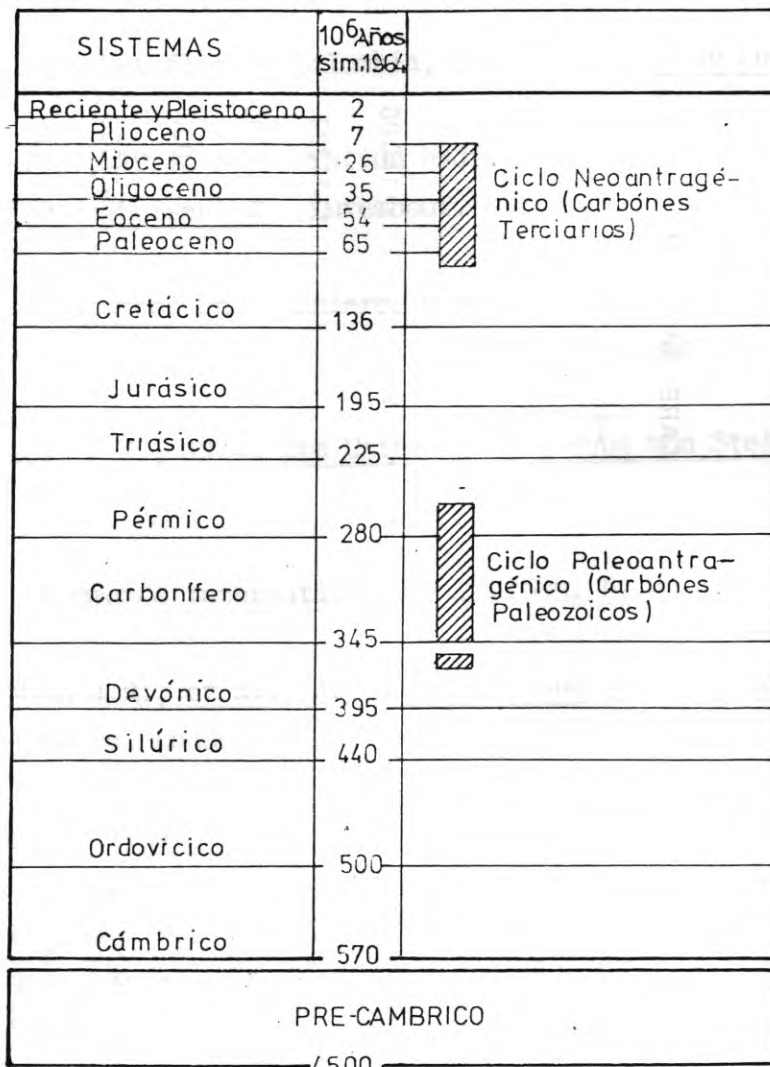
	CARBONO FIJO \$s	BTU/LB	CAL/Kg.
ANTRACITA	> 86		
BITUM. BAJO VOL	78-86		
BITUM. MEDIO VOL	69-78		
BITUM. ALTO VOL CLASE A	< 59	14000	7780
BITUM. ALTO VOL CLASE B		13-14000	7220-7780
BITUM. ALTO VOL. CLASE C		11-13000	6110-7220 *
SUBBITUMINOSO CLASE A		11-13000	6110-7220 **
SUB BITUMINOSO CLASE B		95-11000	5280-6110
SUB BITUMINOSO CLASE C		83-9500	4610-5280
LIGNITO		< 8300	< 4610

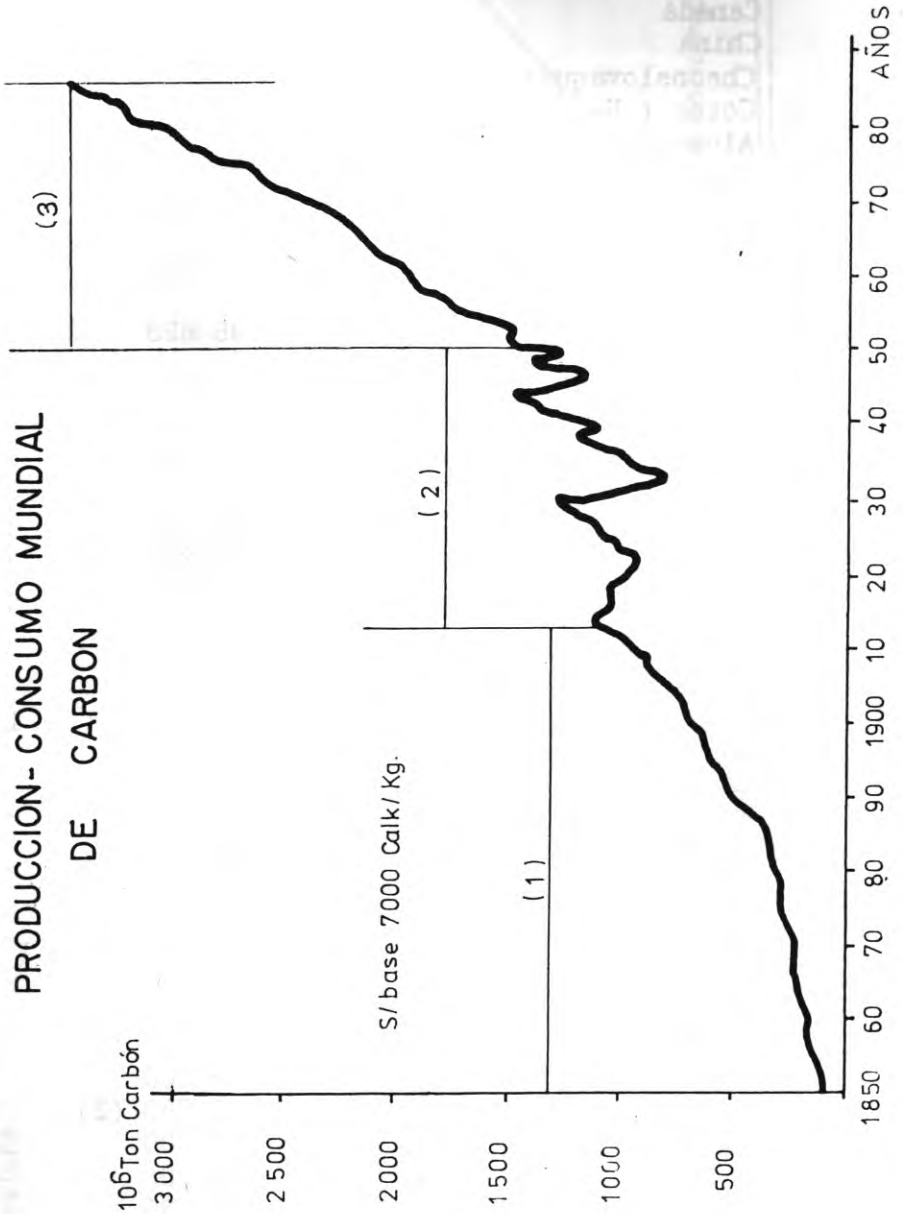
* Aglomerante

** No Aglomerante

ANEXO 2

CICLOS ANTRAGENICOS





ESTIMACION DE
1850 1860 1870 1880 1890 1900 1910 1920 1930 1940 1950 1960 1970 1980 1990 2000

Alto
Cuba
China
Australia
Tailandia
1.2 países que producen
1.1 Total en el mundo
milios (y millones)

(en 100 000 TON)
Paises
LATINOAMERICA
PAISES DE SUECIA

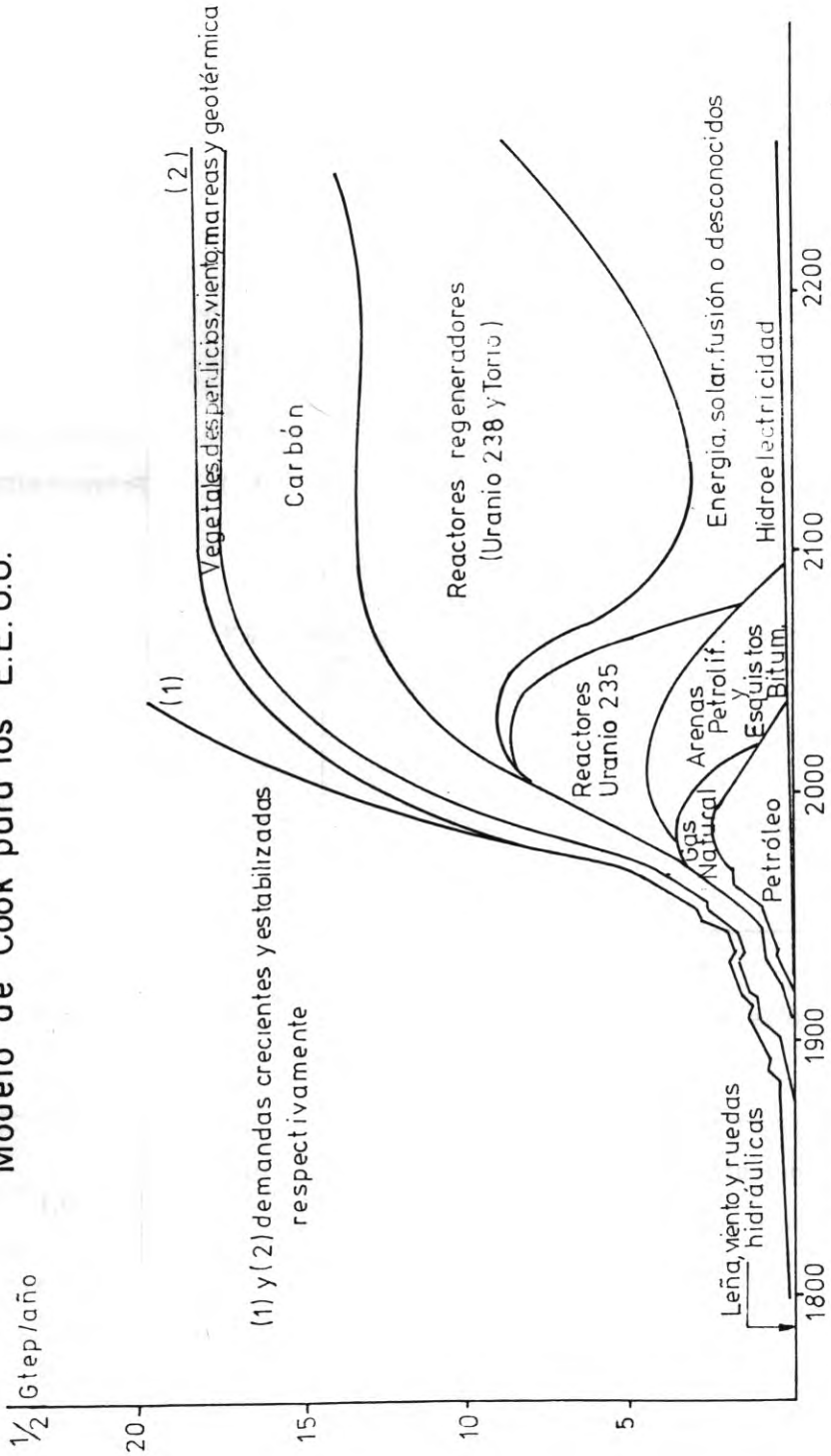
RECURSOS Y PRODUCCIONES DE PRINCIPALES PAISES CARBONEROS Y DE
LATINOAMERICA

	Recursos (1) (en 106 Toneladas)	Producciones de 1990 (en 103 Toneladas)
1.- Hullas (y antracitas)		
1.1 Total en el mundo	5.256.055	3.564.294
1.2 Países que produjeron más de 20 millones de Toneladas		
Australia	545.340	159.417
Canadá	29.710	37.672
China	650.600 (2)	<u>1.080.000</u>
Checoslovaquia	9.000	22.770
Corea (N+S)	6.277	57.917
Alemania(Occidental)	44.000 (2)	76.354
India	239.331	201.829
Polonia	164.300	147.000
Sud Africa	126.218	175.579
ex U. R. S. S.	2.230.000	<u>543.000</u>
Reino Unido	376.700	89.303
U. S. A.	695.828	<u>861.434</u>
1.3 Países latinoamericanos (incluyen lignitos)		
Argentina	8.051 (3)	270
Brasil	22.796 (4)	4.595
Chile	5.901 (4)	2.183
Colombia	40.000 (4)	19.000
México	4.885 (4)	10.004
Perú	914 (4)	145
Venezuela	5.333 (4)	1.864
2.- Lignitos		
2.1 Total en el mundo	5.103.919	1.218.819
2.2 Países que produjeron más de 20 millones de Toneladas		
Australia	254.600	46.249
Bulgaria	5.118	31.526
Checoslovaquia	8.850	85.521
Alemania(Oriental)	47.000 (2)	<u>280.000</u>
Alemania(Occidental)	55.000 (2)	<u>107.531</u>
Grecia	5.312 (2)	51.896
Turquía	7.847 (2)	43.847
Polonia	33.400	68.000
Rumania	3.900 (2)	40.000
ex U. R. S. S.	3.257.000	<u>188.000</u>
U. S. A.	874.206	82.606
Yugoeslavia	21.535	75.556
Canadá	39.165	30.659
España	1.637	21.070

Fuentes: Estadísticas de las Naciones Unidas de 1992. -(1) Probados y Adicionales Estimados. (2) Solo Probados. (3) Según YCF (1992). (4) Según ILAFA (1985).

ESTIMACION DE DESARROLLO DE RECURSOS ENERGETICOS

Modelo de Cook para los E.E.U.U.



Fuente informativa: Chemical & Engineering News

ESTIMACIONES A NIVEL MUNDIAL SOBRE RECURSOS,
RESERVAS Y PRODUCCIONES DE COMBUSTIBLES FOSILES.

	Recursos Remanentes (Gtep.)	Reservas (%)	AÑO 2020	
			Producciones Potenciales(Gtep)	Recursos Remanentes (%)
Carbón	Hulla y Antr. 5.000 Lígnitos <u>500</u> 5.500	6,3	6,1	70
Petróleo	260 (2)	38,4	2,6	25
Gas Natural	270	25,9	2,7	50
Hidrocarburos no convencionales (3)	Se suponen similares a los carbones		3,1	80

(1) Basadas en datos de la conferencia Mundial de la Energía (Estambul 1977)

(2) Pasando a una recuperacion de 40 %

(3) Aceites pesados, arenas asfálticas, esquistos bituminosos

DEPOSITOS CARBONIFEROS LATINOAMERICANOS



Economía del carbón mineral/Federico
Bergman

338.2724 B499e Ej.1

CATALOGADO POR: HELP FILE LTDA

FECHA
PEDIDO

PRESTADO A

FECHA
DEVUELTO

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA



01003943
BIBLIOTECA