

Control de Calidad del carbón en el Cerrejón Zona Norte

CARLOS HEREDIA B., Geólogo
ALFREDO ROSALES H., Geólogo

RESUMEN

La División de Control de Calidad del carbón perteneciente al Departamento Técnico de la mina El Cerrejón Zona Norte Guajira Colombia, operada por la International Colombia Resources Corporation -INTERCOR-, es la encargada mediante técnicas definidas, de asegurar un control tal del producto que nos permita competir y sostenernos en los Mercados Internacionales del carbón.

El objetivo del presente trabajo señala, los diferentes factores de Mercadeo y Minería que afectan la calidad y los métodos y cuidados que se emplean para asegurar un adecuado control de calidad del carbón exportado.

La explotación minera se realiza a cielo abierto. Al extraerse el carbón la mayor parte se tritura directamente y la otra se apila antes de triturarlo, para propósitos de mezclarlos y se envía a los silos. Luego se transporta en trenes hasta Puerto Bolívar, en donde se realiza el cargue final a los barcos.

La competencia y los cambios en las políticas petroleras ocurridas desde los años 70 hasta nuestros días, nos obligaron a cambiar la base inicial de vender un solo producto, a diversificar éste con el ánimo de poder satisfacer los mercados internacionales y mantenernos competitivos.

La diversificación de productos depende: del cumplimiento de ciertas regulaciones ambientales impuestas en algunos países para su apilamiento o manejo; de las características de los procesos de combustión y por último en su utilización en diversos procesos y usos industriales.

Esto conllevó a un estricto y sistemático control de proceso de mezclas de mantos para la

elaboración de cada producto y asegurar el cumplimiento de los términos pactados en los contratos.

Para implementar esta metodología de control, se ha requerido de un conocimiento detallado de la Geología estructural de todo el yacimiento y de la calidad de cada manto, lo cual se ha logrado mediante una completa red de perforaciones. El proceso e interpretación de esta información se realiza con la ayuda de modelos geológicos de estructura y calidad.

Así mismo, el control del producto obtenido requiere de un cuidadoso y representativo muestreo durante las diferentes fases del proceso tanto en la mina como en el puerto. Este intenso muestreo justificó la creación de un laboratorio de carbones, el cual facilita el control de la calidad del producto final.

Las predicciones, calidad minada y exportada nos han obligado a desarrollar herramientas estadísticas adicionales eficientes en la mina, laboratorio y puerto que nos permiten exportar en el momento requerido cumpliendo con los rangos pactados y emitir los certificados de calidad correspondientes.

1. MINA DEL CERREJON ZONA NORTE

1.1 LOCALIZACION

El depósito carbonífero de El Cerrejón está localizado en el Departamento de la Guajira Colombia, extremo norte de la cuenca del río Cesar-Ranchería (figura 1), en una depresión estrecha encerrada por la Sierra Nevada de Santa Marta al Oeste y la Serranía del Perijá al Este. La zona carbonífera se extiende aproximadamente 50 Km a lo largo del valle del río Ranchería.

Para efectos de exploración la zona fue dividida en tres bloques: "A", "B" y "C". El Bloque "B" (38.000 hectáreas) fue entregado a INTERCOR en contrato de Asociación con CARBOCOL en 1976.

1.2 DESCRIPCION DEL COMPLEJO

1.2.1 Mina. La explotación de las 328 millones de toneladas programadas con el método de palas y camiones, se realiza actualmente en dos tajos mayores (Tajo Norte y Tajo Sur), localizados en el Bloque "B". El objetivo es producir continuamente un mínimo de 15 millones por año hasta el año 2008.

Los límites de los tajos se han desarrollado con la ayuda de modelos de computador y se espera alcanzar una profundidad máxima de 260 m en el Tajo Norte.

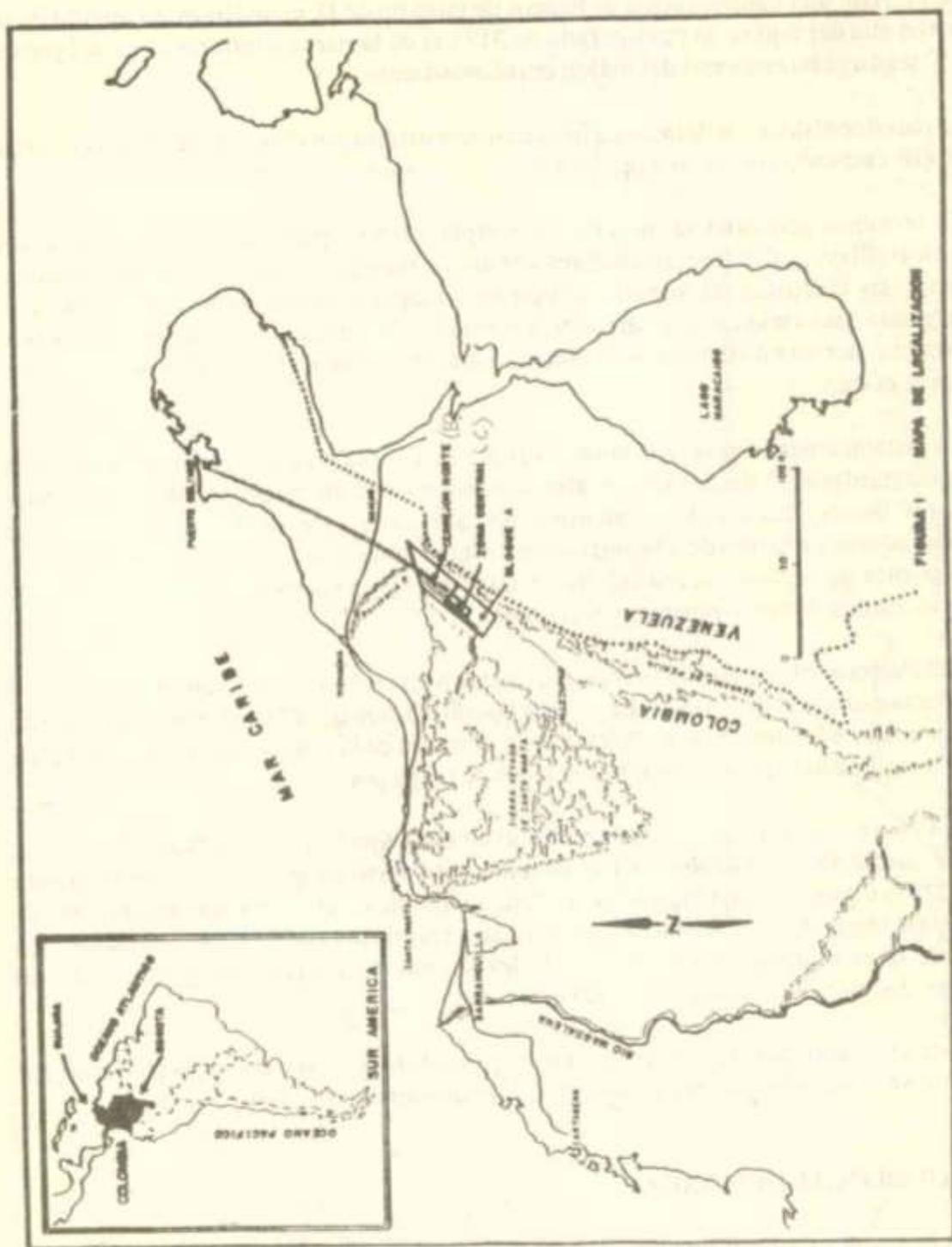


FIGURA 1 MAPA DE LOCALIZACIÓN

El diseño de los tajos contempla un ángulo de inclinación de la cara de avance de la mina de 11° , con una configuración de bancos de minería de 15 m de altura. El ángulo de la pared alta del tajo se ha considerado de 31° y el de la pared contraria o sea del pie de 15° según el buzamiento del manto correspondiente.

La pared contraria a la del avance minero se constituirá por el retrolleado del material estéril excavado con un ángulo de 20° .

En términos generales la minería contempla: el descapote, retirando el suelo con mototraillas y apilándolo; la voladura, volando el material estéril para aflojarlo y minar con palas eléctricas; la minería, aflojando y empujando el carbón con bulldozer y cargando los camiones con cargadores frontales; la trituración, triturando el carbón para obtener una distribución de tamaño uniforme, el cual alimenta los silos y estos a su vez el tren.

Las instalaciones básicas en la mina consisten de una planta trituradora de carbón, una banda transportadora, dos silos de almacenamiento con descargue rápido a los vagones de los trenes, talleres de mantenimiento, almaceenes de depósito, servicios para trabajadores y oficinas de administración; instalaciones de apoyo como: Una planta de agua, otra de explosivos, red eléctrica y telefónica y un campamento con más de 300 casas, instalaciones deportivas y recreativas.

1.2.2 Ferrocarril. El carbón se transporta de la Mina al Puerto utilizando el ferrocarril con una extensión de 150 Km. El sistema operativo consiste de dos trenes, cada uno de ellos con tres locomotoras de 3.600 HP de potencia cada una, con una capacidad para halar hasta 120 vagones con 100 toneladas de carga por vagón.

1.2.3 Puerto. Las estructuras de Puerto Bolívar están localizadas en la Bahía de Portete, Mar Caribe, Océano Atlántico. El Conjunto del Puerto comprende un canal dragado de 225 m de ancho con longitud de 4.5 km; un muelle carbonero para barcos hasta de 150.000 toneladas, un muelle de servicio para recibir los suministros destinados a la Mina; la estructura para descargue de los vagones del tren y un gran patio con capacidad para almacenar 1'700.000 toneladas.

Existen tres apiladores recolectores, un cargador de barcos con una capacidad nominal de 10'000 toneladas por hora y una planta de muestreo con cuatro etapas.

1.3 GEOLOGIA DEL AREA

La cuenca del Cesar-Ranchería consiste esencialmente de rocas sedimentarias de composición variada, que oscilan en edad desde el Triásico hasta el Terciario, cubiertas en forma amplia por sedimentos (figura 3).

Diferentes eventos tectónicos complejos ocurrieron en esta cuenca diterminando una

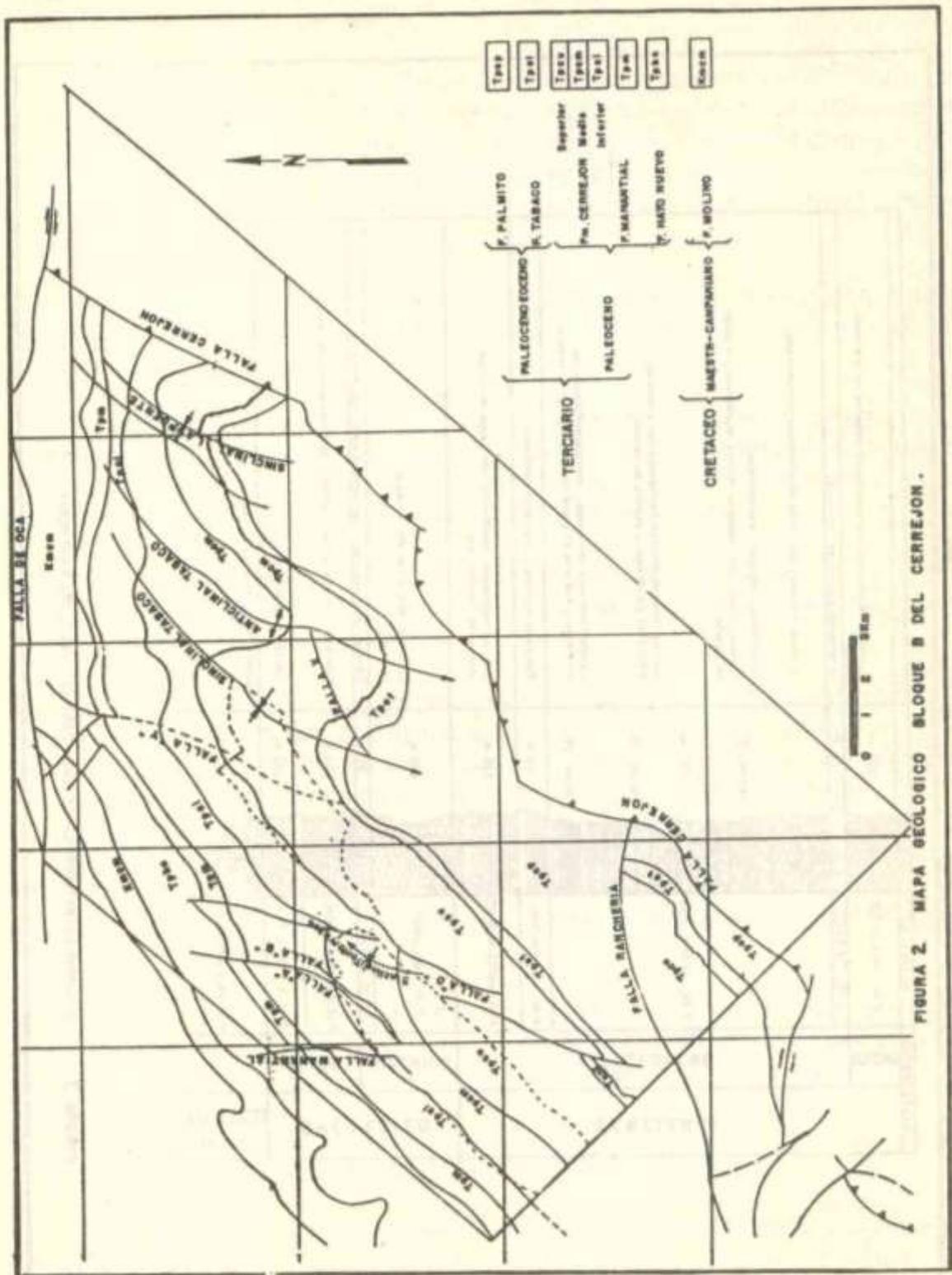


FIGURA 2. MAPA GEOLOGICO BLOQUE B DEL CERREJON.

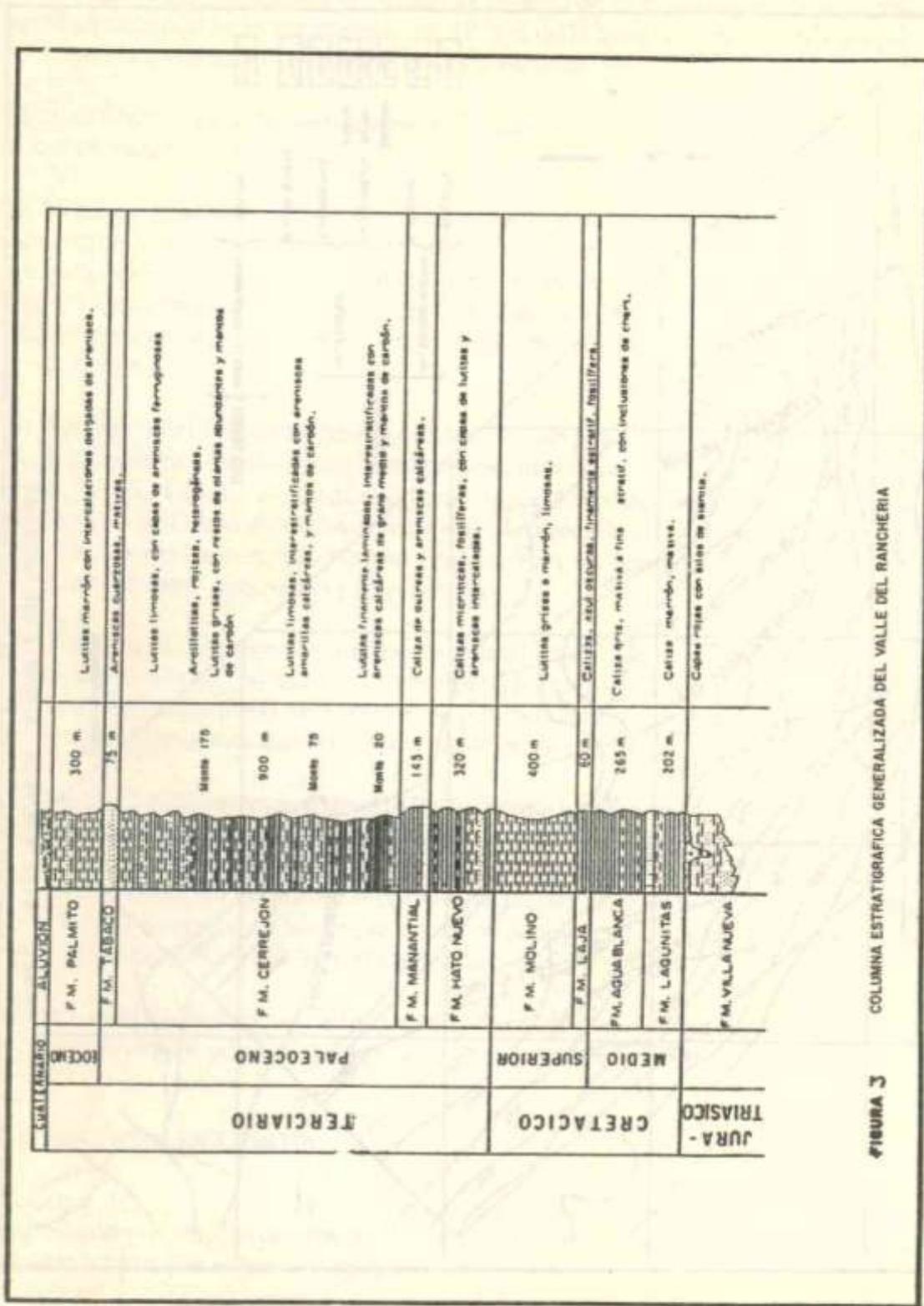


FIGURA 3 COLUMNA ESTRATIGRAFICA GENERALIZADA DEL VALLE DEL RANCHERIA

frecuente oscilación del nivel del mar y la depositación más o menos alternada de sedimentos marinos y continentales.

La complejidad de los eventos geológicos ocurrieron en la península de la Guajira y la frecuente oscilación del nivel del mar originaron una variedad de rocas sedimentarias que en el área varían desde calizas de mares profundos a areniscas continentales depositadas por ríos y cubiertas en gran parte por sedimentos aluviales recientes. A continuación se describen las formaciones que aparecen en el área de la Mina, ver mapa geológico figura 2.

1.3.1 Formación Manantial. Suprayace concordantemente la Formación Hato Nuevo y está compuesta por delgadas capas de areniscas, lutitas y bancos masivos de calizas fosilíferas.

1.3.2 Formación Cerrejón: Suprayace concordantemente la Formación Manantial y consiste esencialmente de areniscas, limolitas, arcillolitas y 45 mantos de carbón, con espesores entre 0.7 y 0.8 m que para diferenciarlos fueron enumerados desde el 20, (el más inferior estratigráficamente) hasta el 175 (el más superior).

1.3.3 Formación Tabaco. Descansa discordantemente sobre la Formación Cerrejón, consiste de bancos gruesos de areniscas continentales, conglomeráticas, lenticulares, con abundantes fragmentos de chert.

1.3.4 Depósitos aluviales. Una gran porción del bloque "B" está cubierto por sedimentos aluviales cuaternarios, principalmente arenas y gravas depositadas por el río Ranchería y sus tributarios que dan origen a un valle en el cual sobresalen pequeñas colinas, formadas por afloramientos de las formaciones Tabaco y Cerrejón.

1.3.5 Tectónica Regional. El depósito carbonífero de El Cerrejón está localizado en el extremo norte de la cuenca del Cesar-Ranchería y está limitado por la falla del Cerrejón al Este y por la falla de Oca al Norte, las cuales interrumpen abruptamente su continuidad (Figura 3).

El estilo tectónico refleja deformación causada, por los esfuerzos compresivos originados por la cercanía del límite entre las placas de Sur América y del Caribe y a los movimientos laterales de la corteza terrestre a lo largo de la falla de Oca.

1.4 CALIDAD DEL CARBON

Los carbones de El Cerrejón se clasifican como: Bituminosos A, B y C Altos en Volátiles, según la clasificación ASTM. Clase y grupo 1 ó 2, números 711, 712 ó 721, según clasificación internacional ISO y "Flambants Gras", según clasificación francesa.

Los carbones del Cerrejón poseen calidades diferentes dependiendo de su posición

estratigráfica. Los Inferiores, de origen parálico, han sufrido mayor efecto del proceso de carbonización o metamorfismo, poseen un alto poder calorífico, baja ceniza, azufre relativamente bajo, de más alto contenido que los mantos Superiores y humedad de equilibrio muy baja. Los mantos Superiores poseen un poder calorífico menor, una ceniza más baja, un azufre más bajo y una humedad de equilibrio más alta. Sin embargo se considera que nuestro carbón es bajo en ceniza, bajo en azufre y alto en volátiles.

La calidad promedio de todo el carbón que se exporta, en base como se embarca, es la siguiente: Poder calorífico 11800 BTU/lb ó 6550 Kcal/Kf, Ceniza 7.5%, Humedad 11.0%, Materia Volátil 34.4%, Carbono Fijo 47.5% y Azufre 0.65%.

La calidad del carbón se estableció, durante la etapa de exploración, con la ayuda de perforaciones con broca de diamante y obtención de núcleos. Se perforaron en total más de 450 pozos de corazonamiento y se obtuvieron análisis completos para más de 2500 muestras. Adicional a esto se analizó la roca encajante de techo y piso, fracciones de los mantos o bancos e intercalaciones de roca en los mantos y muestras compuestas de carbón con dilución de roca. (ver discusión en 3.3).

→ Mirar para la exportación.

2. OBJETIVO DE CONTROL DE CALIDAD

Poder mantener la mina a un nivel competitivo dentro del mercado Internacional.

Conocer la calidad de cada manto a lo largo del rumbo y buzamiento. Estudiar el comportamiento del carbón a través de todo el proceso desde su extracción hasta su utilización en el mercado. Analizar los efectos de la calidad de cada parámetro de calidad en el manejo y uso por parte de los compradores. Calcular los promedios y rangos de la calidad del carbón a vender a corto, mediano y largo plazo. Indicar los procesos de mezclas de mantos o pilas día a día en la Mina y en el Puerto. Supervisar el manejo del carbón durante la explotación, transporte y cargue de buques. Administrar los contratos de certificación de la calidad vendida en el puerto. Mantener informada a la gerencia sobre: la calidad e inventarios en Mina y Puerto, calidad de los mantos, calidad de los barcos y problemas que puedan presentarse. Implementar nuevas tecnologías para mejorar la eficiencia de cálculos y distribución de datos y conocer la calidad del carbón que se exporta mediante el análisis directo en el laboratorio.

3. CONTROL DE LA CALIDAD DEL CARBÓN A EXPORTAR

3.1 GENERALIDADES

Controlar la calidad del carbón es verificar y certificar que ésta cumple con los parámetros contractuales por embarque.

En muchas partes del mundo lo que ocurre es que la mina y la planta que consume el carbón están cerca y dependen una de la otra. La planta ha sido diseñada para quemar ese carbón y toda la minería cumple los requisitos para entregar un producto muy específico y el diseño de la planta se ajusta a éste. En este caso, Control de Calidad se limita a realizar una cuidadosa supervisión de los planes de minería, un chequeo de los métodos y un muestreo sistemático siguiendo normas establecidas y reconocidas.

En nuestro caso las cosas son mucho más complicadas, tenemos muchos compradores que poseen manejos, molinos y plantas de trituración diferentes y en la mina existen más de veinte mantos que tienen calidades diferentes y son varios los tajos en donde se explota el carbón. Es como si tuvieramos varias minas y no una. Los compradores son muy exigentes. Cualquier parámetro de calidad que les cause un pequeño problema, puede ser factor para disminuir los precios de compra o para renegociar los contratos o suspenderlos o rechazar embarques. La oferta actual es alta y este es un mercado de compradores y no de vendedores.

3.2 Parámetros de calidad

En los contratos el cliente especifica aquellos parámetros de calidad que le ayude a controlar cualquier problema relacionado con: Contaminación del medio ambiente, durante el embarque, manejo en los puertos de recibo, cargue hacia las plantas, almacenamiento en los patios de las plantas y transporte a la planta; trituración o molienda, quemado en las calderas, problemas de corrosión de las calderas o daño por aparición de depósitos no deseables que disminuyen la capacidad de producir energía, contaminación en las aguas de desecho y calidad del desecho sólido.

Estos parámetros son: Porcentajes de polvo, material fino, material grueso (llamado sobretamaño) y definición del tamaño de la partículas más común, máximo y mínimo tamaño. Gravedad específica. Temperatura del carbón. Potencial a emitir metano. Humedad, azufre, cenizas, poder calorífico, materia volátil, carbono fijo, índice de molidurabilidad o triturabilidad "Hardgrove Grindability", nitrógeno, hidrógeno, cloro, oxígeno, humedad de equilibrio, formas de azufre, dióxido de carbono, fluor. Composición química de las cenizas, temperatura de fusión de estas. Elementos trazas. Índice de hinchamiento, fluidez, dilatometría. Composición maceral y petrografía.

Esto no quiere decir que todos los clientes necesiten todos estos datos. Pero para que ellos controlen ciertos problemas potenciales, se debe realizar en el carbón ciertos análisis con los cuales ellos determinan la magnitud del problema inherente que afecte a sus diseños. Básicamente todos necesitan conocer el análisis Próximo completo más azufre.

3.2.1 Importancia de la determinación de parámetros de calidad. Este trabajo está ligado a nuestras experiencias con el carbón de Cerrejón, el cual se utiliza principalmente para generar energía eléctrica y quedarán faltando algunos tópicos y efectos

de los parámetros relacionados con otros usos específicos. Por ejemplo, el producir coke o gasificarlo o fabricación de briquetas de carbón. Sin embargo, la mayoría de los efectos tratados aplican para otros usos.

3.2.1.1 Durante la exploración. Al obtener los núcleos producto de perforaciones o muestras en apiques de carbón no oxidado, debe tenerse todos los datos a una base común, con la cual diferentes tipos de carbón, se puedan comparar y correlacionar entre sí. Esta base puede ser la **Humedad de Equilibrio**, (ver 3.2.1.8) la cual no es un parámetro que normalmente se solicite, pero es importante para la exploración y es utilizada después en la explotación para calcular la humedad a la cual se va a vender el carbón dependiendo de la cantidad de humedad superficial que se quiera o se tenga que agregar. Además se utiliza para determinar el **rango del carbón**.

Es durante esta fase que se deben determinar todos los parámetros que en el futuro se van a utilizar (ver 3.3).

3.2.1.2 Manejo del carbón. El carbón no debe contaminar el ambiente y debe determinarse el contenido de partículas finas menores a malla 50 (0.3mm) y observar durante el cargue y descargue la cantidad de polvo producido. Valores por encima del 15% menor de malla 50 pueden producir problemas complicados. También puede determinarse el índice de pulverulencia en un equipo especial, pero nuestras experiencias nos demuestran que el significado o interpretación de este ensayo y su precisión no son muy claras. Es mejor observar en el campo la generación de polvo y determinar sus efectos teniendo en cuenta las condiciones del medio que rodea y los equipos de manejo. Los compradores en general no quieren que el carbón produzca polvo y la mejor forma de controlarlo es agregando agua. Existen también en el mercado surfactantes y aglomerantes que se pueden usar. **Para no exceder el contenido de agua agregada y perder mucho dinero por pérdidas de BTU se recomienda agregar hasta 2.5% de humedad superficial (Clasificación ASTM).**

El carbón no puede taponar la salida en las compuertas de silos, trenes, ductos, a la salida o entrada de bandas transportadoras, bocas de salida de las tolvas, estaciones de transferencia, paredes de los barcos, bandas transportadoras en invierno. Para evitar estos problemas debe conocerse el contenido de finos y la humedad del carbón y evitar humedades superficiales muy altas. Valores por encima de 4% de humedad superficial (Clasificación ASTM) pueden ser excesivos. En el momento de agregar agua existen **medidores de flujo** para no sobresaturarlo. Cuando llueve este problema es difícil de controlar.

En algunas regiones el agua de consumo humano se extrae de pozos subterráneos y el agua que se lixivia de las pilas de carbón no puede contaminar dichas aguas. Para esos sectores es importante determinar las formas de azufre, especialmente el contenido de azufre pirítico. Valores por encima de 0.4% de azufre pirítico son altos y pueden ser alcanzados fácilmente con carbones que tengan azufre total igual o superior a 0.9%. Esto se puede evitar realizando minería selectiva, separando el techo y la base de cada

manto, en donde por lo general se concentra el azufre pirítico. Con el objeto de controlar la posible contaminación de los ríos, depósitos de agua, debe determinarse las formas de azufre y tenerse una idea de los elementos trazas en ceniza para evitar contaminación por: arsénico, selenio, cobre u otros elementos que pueden encontrarse en la fracción mineral del carbón.

Durante el almacenamiento en silos, bodegas de barcos, almacenamiento en tolvas debe conocerse la capacidad de emisión de metano para poder controlar los niveles explosivos. En estos casos se recomienda tener detectores de metano y evitar hasta donde sea posible el almacenamiento de carbón en recintos cerrados durante períodos muy largos. Existen normas internacionales que indican los niveles de contaminación, los cuales en ciertos países se aplican estrictamente.

La pérdida de carbón por manejo también debe tenerse en cuenta y debe cuidarse el exceso de porcentaje de partículas finas. Esta pérdida puede ocurrir durante el transporte en ferrocarril o camiones o en la pilas de almacenamiento.

3.2.1.3 Pulverización o molienda. El costo del equipo es en general un porcentaje alto del costo total de una termoeléctrica. La pulverización determina la capacidad y eficiencia de carga de las calderas y el porcentaje de carbón no quemado. Si quedan partículas muy gruesas sin triturar éstas no queman y el comprador debe absorber esas pérdidas.

Debe determinarse el Índice de Molturabilidad o también llamado Índice de Triturabilidad Hardgrove, HGT. Entre mayor es el índice, el carbón se deja moler más fácilmente. Índices inferiores a 43 pueden complicar el proceso y se prefieren carbones con índices superiores a 50. La roca por ejemplo es fácil de moler y posee valores superiores a 70.

El carbón de el Cerrejón es ligeramente difícil de moler con un HGI de 49.

El conocimiento de la composición petrográfica de los carbones puede ayudar a clarificar la existencia de valores altos o bajos de HGI. Existen macerales (equivalentes a minerales en las rocas pero de origen orgánico) que pueden incidir en el valor de HGI. mezcla de mantos con composiciones petrográficas diferentes pueden dar valores muy bajos y/o difíciles de predecir.

El contenido de humedad y materia volátil debe conocerse también para la molienda. Parece que carbones con valores de materia volátil extremas son más difíciles de moler que los de materia volátil y extremos superiores con un contenido mayor a 40% de materia volátil. En este caso los compradores son los que determinan si sus pulverizadores tendrán problemas con su carbón, ya que esto depende del equipo que dispongan

3.2.1.4 Combustión del carbón para generar vapor. La calidad del carbón y de las cenizas

son importantes para el diseño de una caldera. Debe conocerse el análisis próximo completo: La materia volátil es uno de los factores que tienen en cuenta para determinar la forma de la caldera y tipo de quemadores. La ceniza es otro factor que tienen en cuenta para el diseño del tamaño de la misma.

Las temperaturas de fusión de las cenizas indican la potencialidad a formar depósitos en las paredes de la caldera.

La composición química de las cenizas se determina para observar la posibilidad de obstrucción de los ductos por formación de depósitos. Esto puede ocurrir en algunos diseños de calderas cuando el óxido de sodio es muy alto, superior a 3%.

3.2.1.5 Corrosión. Esto ocurre con carbones con azufre muy alto superior a 1.5% o con cloro superior a 0.2% en algunas plantas. En este caso se puede mezclar carbones de bajo contenido de sodio y cloro con los que poseen valores altos.

3.2.1.6 Contaminación. Existen diferentes tipos de contaminación.

En las plantas al quemar el carbón, el contenido de SO_2 por millón de BTU no puede ser superior a 1.2% por regulación de la EPA, "Environmental Protection Agency" (USA), aplicada en muchas partes del mundo, ni el contenido de gases NO_x superior entre 0.5 a 0.8 libras por millón de BTU.

Las cenizas volantes deben removerse mediante precipitadores electrostáticos antes de ingresar al medio ambiente. Para determinar el equipo necesario debe conocerse la resistividad de las cenizas volantes.

La contaminación ambiental es un factor decisivo de compra, ya que la tendencia actual en la generación de energía es la utilización de combustible cada vez más bajo en elementos contaminantes (ver 3.2.1.2).

3.2.1.7 Desechos sólidos. En algunas partes del mundo son utilizados como materia prima de fertilizantes o para otros usos y su composición química es importante, por ejemplo no puede tener un porcentaje muy alto de hierro y éste debe analizarse previo el quemado del carbón.

3.2.1.8 Bases de los reportes de los análisis de muestras. Cuando una muestra de carbón se analiza en el laboratorio posee una humedad determinada, es decir los resultados de calidad se encuentran con base en humedad del ensayo. Además ha sido obtenida en un sitio específico y esta información debe añadirse. Por ejemplo, si la muestra es un núcleo de perforación y se le ha realizado humedad de equilibrio, la base es: Humedad de equilibrio de carbón puro in situ. Si se trata de muestra de explotación tomada en la mina, su base es: Humedad total de carbón tal como se mina. Si es de un barco, será: Humedad total de carbón embarcado.

Siempre que se publiquen datos de calidad debe escribirse claramente la base a la cual se encuentran los datos.

Para pasar de una base a otra debe pensarse si se debe multiplicar por un factor menor o igual a 1. A manera de ejemplo, para pasar de carbón con humedad embarcada a carbón con humedad como se mina, se calcula:

$$= 100 - \text{humedad total mina} / 100 - \text{humedad total puerto.}$$

Para pasar de carbón puro a carbón minado debe agregársele la calidad de la roca, ponderando por los espesores del manto y de la roca agregada y luego pasar de humedad de equilibrio a humedad de carbón minado.

Para cálculos estadísticos o comparaciones entre laboratorios u otros objetivos se recomienda trabajar en base seca.

3.3 DEFINICION DE LA CALIDAD DEL DEPOSITO

En el año de 1976 una vez firmado el contrato con el Gobierno, INTERCOR empezó el trabajo de exploración perforando con tricono y obteniendo registros eléctricos para definir la estructura. Simultáneamente se corazonó con broca de diamante para obtener núcleos y analizarlos y se utilizaron varios laboratorios para corroborar y chequear la información.

En la actualidad para apoyar el trabajo diario de minería se continúa perforando con tricono y realizando correlaciones entre los pozos y se obtienen núcleos de perforación únicamente cuando es estrictamente necesario.

Hasta la fecha se han corozonado más de 450 pozos lo que significa más de 2500 análisis Próximo, 2000 análisis Ultimo, 2000 Fusión de Cenizas y 2000 elementos de ceniza. Para completar la caracterización del carbón se adelantaron estudios especiales como el de determinar los elementos trazas, características petrográficas, índices de hinchamiento, etc...

3.3.1 Manipulación de información. El proceso comienza con la definición de análisis de los núcleos, el cual depende del objetivo que se quiera alcanzar. No es lo mismo definir la calidad de un depósito que el diseñar una planta lavadora o definir el efecto de tal fenómeno geológico en la calidad o pensar en minería selectiva.

De nuestra experiencia recomendamos obtener el máximo posible de información de cada núcleo y con una metodología tal que la información pueda ser utilizada para contestar el máximo de objetivos futuros. Este proceso es muy costoso y nunca más se tendrá el tiempo para realizar lo que se puede hacer durante la fase de exploración.

Se recomienda definir los parámetros de minería antes de solicitar ensayos. Con esta

información se decide en **cuantas partes debe analizarse cada núcleo**. Normalmente si no existen intercalaciones arcillosas dentro del núcleo, éste puede dividirse en tres y solicitar análisis a cada una por separado.

✓ Este proceso debe realizarse con mucho cuidado e información suficiente, porque lo que se define durante la exploración tiene un alto riesgo de cambiarse durante la explotación.

3.3.1.1 Banco de Datos. Todos los resultados analíticos de los análisis de los n núcleos se chequearon sistemáticamente. Las comparaciones de los resultados de los laboratorios con valores teóricos de BTU, desarrollados por correlaciones múltiples, sirvieron para confirmar la consistencia de los análisis realizados. Los valores erráticos se chequearon y se duplicaron análisis para confirmar la información obtenida.

Con los resultados se confirmó un banco de datos de gran capacidad y flexibilidad para almacenar la información de exploración, así como la futura originada por las perforaciones de núcleos.

El banco de datos se utiliza como base de modelos de estructura y de calidad.

Puede ser consultado parcial o totalmente mediante programas interactivos que permiten extraer información y estadísticas por manto o grupo de mantos de carbón.

Teniendo en cuenta el objetivo del trabajo a realizar se debe escoger en qué base se debe trabajar. La conversión de los datos a humedad de equilibrio, a base seca, a base seca libre de materia mineral y a base seca libre de ceniza se realizó a través de programas de computador.

3.3.1.2 Manipulación estadística de la información. Una vez definidas las áreas más favorables para desarrollar la mina, se empezó a calcular los promedios y rangos de calidad. Para esto se utilizaron diferentes sistemas estadísticos existentes en el mercado y se desarrollaron otros en el departamento de Sistemas de la Compañía.

Para conocer la variabilidad de las condiciones geológicas y de la calidad por manto en sus tres dimensiones se desarrollaron los modelos de estructura y de calidad descritos a continuación.

3.3.1.3 Modelo computarizado de estructura y calidad. Mediante programas de computador se logró determinar el promedio de los parámetros de calidad ponderados por espesor o tonelaje. Los promedios fueron calculados teniendo en cuenta también los diferentes tipos de dilución de roca. Estos valores básicos permitieron y permiten definir rangos preliminares para determinar la calidad del proyecto y se usaron como valores previos para la fase del modelaje geológico.

Con la ayuda del programa **"Multiple Seam Coal Deposit Evaluation System"** (MSCDES)

escrito por CAI, Computing Associates International de Tucson, Arizona, se desarrollaron modelos geológicos a largo plazo basados inicialmente en una retícula de 200 m los cuales a medida que la información se ha incrementado se han ajustado hasta 25 m. Con el objeto de reflejar en mejor grado las condiciones geológicas del yacimiento ese paquete se modificó hasta crear uno nuevo, llamado **Cóndor** escrito por el Departamento de Sistemas de INTERCOR.

El modelo geológico de estructura permite la generación de mapas de: subafloramiento según los diferentes niveles de explotación, mapas estructurales de techo y piso de los mantos, isopacos, trazas de fallas y secciones transversales. El diseño de modelos permite suministrar información geológica adecuada para el cálculo de reservas, cálculos de estéril (roca) superficial e intercalado entre mantos y cálculos de relación de descapote.

El modelo de calidad permite el modelaje de hasta 21 variables simples, variables transformadas y/o acumuladas. El modelo está interconectado con modelos de minería para evaluar y calcular reservas con el fin de obtener las calidades por tamaño y por bloque de minería y calcular calidades a corto y largo plazo.

Las diferentes versiones de los modelos geológicos a largo plazo han incrementado el detalle, particularmente en sectores con geología complicada, así mismo los parámetros de calidad se han ajustado para lograr un mayor grado de confiabilidad de los mismos.

Recientemente y de acuerdo a las necesidades de la mina, se han desarrollado modelos de estructura geológica a corto plazo, con aplicación de técnicas y tomadas del programa que simula la secuencia minera **MINEX**, escrito por ECS Australia que han permitido una planeación minera más adecuada. Estos modelos tienen un espaciamiento de retícula mucho menor y cubren áreas que van a ser minadas en los próximos trimestres.

3.4 CALIDAD DEL CARBÓN MINADO

Ya vimos toda la información necesaria que permite calcular la calidad por manto in situ. Ahora el otro grupo de información existente que permite calcular la calidad del carbón minado es la que se produce en: después de minarlo, antes de enviarlo al puerto y la oficial de los barcos.

3.4.1 Mina. En el momento de minar cada manto lo mejor es muestrear un número representativo de camiones que salen de la mina. En la actualidad se está habilitando un muestreador automático montado sobre un camión con un muestreador primario y secundario y una minitrituradora. Como este no está aún disponible se obtienen muestras del carbón en el momento de descargar en las pilas de carbón. Estas muestras manuales por lo general no son muy confiables, porque el auxiliar de muestreo tiene siempre la tendencia a recoger la muestra en la parte baja de la carga dejada por el

camión en la pila. Para minimizar este sesgo (error sistemático) lo que se recomienda es el conformar una muestra con el mayor número posible de incrementos. Esto se logra muestreando todos los camiones, cada camión será un incremento.

Los resultados de los análisis de estas muestras se archivan en un programa en LOTUS 1,2,3 y uno de los objetivos es el de minimizar la dilución de roca durante la extracción del carbón. También son importantes en la programación de la calidad que saldrá durante una semana, porque son muchos los problemas locales imposibles de detectar con perforaciones como son: Fallas locales con su incremento en ceniza y azufre, canales de arena y pérdidas locales de espesor del manto, etc...

3.4.2 Trenes. Después de su extracción el carbón alimenta tres trituradoras. En el momento del descargue de camiones se controla la emisión de polvo agregando agua con los supresores de polvo y una vez triturado el carbón se alimenta una banda transportadora en donde se puede agregar agua si es necesario.

Antes de que la banda alimente los silos existe una torre de muestreo automático cubierta, de tres etapas construida sobre el silo. Estos datos son muy precisos y confiables. Con esta información se calcula la calidad de los trenes.

3.4.3 Puerto. Conociendo la calidad de las pilas de acuerdo al número de los trenes se toma la decisión del plan de cargue. La banda transportadora antes de alimentar al cargador de barcos pasa por las estaciones de transferencia, en donde, si es el caso, se le agrega más agua para controlar el polvo y se toma la muestra oficial en una torre de muestreo concortador primario, secundario, terciario y cuaternario. De esta muestra se hace un cuarteo y se le envía al dueño, al laboratorio que certificará la calidad y a la mina, muestras del producto del cuarteo. Todo el muestreo está regulado por normas aceptadas internacionalmente; en nuestro caso se trabaja bajo normas ASTM e ISO.

3.4.4 Base de datos. Con esta información de la mina, trenes y puerto se elabora una base de datos con la cual puede conocerse la historia de cargue de cada barco, incluyendo los trenes que conforman la carga y los mantos con sus tonelajes. Así se permite el conocimiento de la operación y el cálculo de la calidad por tipo de carbón exportado.

3.5 PREDICCIONES

Con la información del modelo, el programa de minería y los datos reales de minería de trenes y barcos de la base de datos, se calcula la calidad del carbón que será obtenida a largo plazo (planes de toda la vida del proyecto), mediano plazo (planes de la producción de un año o del mes siguiente) y corto plazo (calidad del carbón minado día a día).

La minería consiste en una mezcla de mantos con calidades diferentes, para producir al final varios tipos de calidades a exportar y por lo tanto para que se cumplan

diariamente las predicciones deben seguirse lo mejor posible los planes de minería, los planes diarios de mezcla de mantos en la mina, los planes de embarque, los planes de apilamiento, los de cargue y llegada de barcos en el puerto.

3.5.1 Mina. El grupo de Planeación de Calidad predice la calidad del carbón a minar semanalmente y elabora mapas con los avances mineros del respectivo mes. El grupo de Control de Calidad en la mina, el cual supervisa todo el arranque del carbón y su manejo, obtiene muestras en el muestreador automático de los silos para determinar la calidad del tren de acuerdo a las normas ASTM.

Se llevan también registros del origen del carbón, por manto que se va en los trenes.

3.5.2 Puerto. La calidad de los trenes es la base del cálculo de la predicción de la calidad de los barcos, información solicitada por los dueños y compradores. Al llegar la programación de barcos se revisan los contratos y se compara con la calidad en puerto existente y se elabora la predicción la cual es remitida al cliente.

En el momento del cargue la calidad es certificada previo acuerdo entre los vendedores y compradores de quien debe certificar el embarque y quien debe realizar los análisis de laboratorio. La confianza con nuestro laboratorio ha sido tal que existen algunos compradores que aceptan que el vendedor certifique el carbón que vende.

El resultado de esta operación se refleja en la buena acogida que tiene nuestro carbón en el mercado internacional.

Tuvimos que aprender mucho sobre cómo controlar parámetros como producción de polvo, sobretamaño de las partículas, producción de diferentes productos, homogenización de mezclas. Nuestra ventaja fue que se tenía la información técnica suficiente y organizada, resultado de exploración muy detallada, la cual incluía modelos de calidad muy confiables y herramientas estadísticas muy completas.

3.6. APOYO A MERCADEO

Los dueños CARBOCOL e INTERCOR envían al Operador la programación de embarques semanalmente y el grupo de Coordinación de Mercadeo perteneciente a Control de Calidad de Carbón, coordina todo lo relacionado con la operación de exportar el carbón.

Una de las funciones es contestar todas las inquietudes de los dueños acerca de la calidad de embarques y explicación, cuando es necesario, del por qué de la calidad de algunos de estos.

Esta función se puede cumplir con la base de datos de embarque y con el banco de datos de núcleos de perforación.

3.7 INVENTARIOS

Otra de las responsabilidades en el control de la calidad, es el conocimiento de los inventarios en la mina y en el puerto.

En la Mina se hacen conteo de camiones y medición topográfica de pilas, conteo de vagones del ferrocarril y ajustes necesarios con los datos del puerto, en donde se efectúan inventarios físicos de las pilas y el certificado de medición de calados o arqueo de buques.

3.8 LABORATORIO

La mina cuenta con uno de los laboratorios más modernos y completos del país, indispensable para analizar el gran volumen de muestras obtenidas con varios tajos, muchos mantos, controlando todo el proceso desde la mina al puerto, vendiendo varias calidades diferentes a numerosos clientes de todas partes del mundo que solicitan análisis diferentes en normas diferentes.

Su responsabilidad es alta ya que de su eficiencia depende en gran parte la precisión de los resultados.

Puede determinar análisis Próximo completo, análisis Ultimo completo, Elementos de Ceniza, Temperaturas de Fusión de Ceniza, etc...

Se encuentra en capacidad de producir resultados en dos normas, ASTM e ISO y determinación de análisis rápidos en dos horas para tomar acciones inmediatas porque una vez cargado el barco ya no se puede hacer nada. Cuando el tren llega al puerto la calidad del tren debe conocerse para decidir el sitio de apilamiento y luego embarcar el carbón lo más homogéneo, posible, ya que es un requisito de los compradores.

El **cuequeo sistemático** diario de equipos, la participación del laboratorio en programas de Round Robin en los Estados Unidos y que además algunos compradores utilizan nuestros datos para certificar embarques, respaldan la calidad y eficiencia de éste.

3.9 COMUNICACIONES

Todo este esfuerzo se perdería si la transferencia de información no es inmediata. Se poseen sistemas de automatización de oficina que comunican la mina con el puerto, Barranquilla y Bogotá. Además existe una red de comunicaciones completa con teléfono, télex, telefax que permiten comunicación inmediata con los dueños y con los compradores.

4. RESULTADOS DE CONTROL DE CALIDAD

4.1 Tipos de carbón que se exportan

La mina fue diseñada dentro de un ambiente de mercado muy diferente al actual, en donde todas las proyecciones indicaban que la demanda por carbón térmico excedería la oferta. En ese entonces se estaba en un mercado de vendedores en donde la Mina y el Operador podían delinear su operación. En las condiciones actuales en donde la oferta excede la demanda, el comprador es más exigente y se puede dar el lujo de exigir rangos de calidad estrechos y que se ajusten específicamente a sus necesidades. Con un solo producto no se podía satisfacer los requerimientos de la demanda y se tomó entonces la decisión de vender varios tipos de calidades. Los productos y las cantidades de cada uno se varían año por año. A continuación se definen los productos exportados actualmente.

4.1.1 Carbón Especial, SCC. Poder Calorífico Bruto 12200 BTU/lb ó 6780 Kcal/Kg. Ceniza 5.5%. Azufre 0.56%. Humedad Total 10.8%. Materia Volátil 34.4%. En base como se embarca.

Este producto fue creado para un cliente que tiene restricciones muy fuertes con el contenido de pirita y con esta calidad se logra cumplir con este requerimiento.

4.1.2 Carbón Regular Especial, RCC. Poder Calorífico Bruto 1200 BTU/lb ó 6667 Kcal/Kg. Ceniza 6.0%. Azufre 0.6%. Humedad Total 11.0%. Materia Volátil 34.0%. En base como se embarca.

Poder Calorífico alto, bajo contenido de Azufre que cumple o excede los requerimientos para emisiones de SO_2 por millón de BTU, el cual debe ser igual o menor a 1.2 lb/MBTU establecido por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos EPA. Se calcula de la siguiente forma: Azufre Total dividido por BTU/lb multiplicado por 20000. Este producto se envía principalmente a los Mercados de los países Escandinavos y a los Estados Unidos. El 60% de el carbón de El Cerrejón cumple con este requisito.

4.1.3 Carbón Regular o Estandar, Std. Poder Calorífico Bruto 11750 BTU/lb ó 6528 Kcal/Kg. Ceniza 7.6%. Azufre 0.73%. Humedad 11.3% Material Volátil 33.4%. En base como se embarca.

Este puede considerarse como un carbón típico de El Cerrejón.

4.1.4 Carbón para la Industria Cementera, CMT. Poder Calorífico Bruto 11050 BTU/lb ó 6139 Kcal/Kg. Ceniza 12.0%. Azufre 0.9%. Humedad Total 11.3%. Materia Volátil 31.5%. En base a como se embarca.

4.1.5 Productos o mezclas de mantos en la Mina. El Mercado en general cuando pacta

estos tipos descritos, casi que exige que la calidad de su carbón sea igual a los Tipos o Promedios pactados. Para lograr esto en la mina se apilan o se agrupan mantos específicos que mezclados entre sí, cumplen ciertas calidades establecidas. Estas pilas permiten obtener una calidad uniforme y estos productos en la mina se describen a continuación:

✓ En la actualidad son cuatro: Tipo P: con muy baja Ceniza y muy bajo Azufre. Tipo A: Un Std con baja Ceniza y Azufre. Tipo B: Un Std con alta Ceniza y Azufre intermedio; y tipo C: Con Ceniza y Azufre altos.

4.2 USO DE NUESTRO CARBON Y SUS CONSUMIDORES

Los cuatro tipos de carbón que se exportan cumplen con las necesidades del mercado internacional.

El mayor uso es el del sector de generación de Energía, le sigue el sector industrial el cual incluye mezclas con carbón coquizable para ferroaleaciones, industria papelera, industria azucarera y cementera. Entre los usos potenciales se encuentran, el uso doméstico, mezcla con agua, y carbón activado.

En el sector de Generación de Energía es utilizado en las Centrales Termoeléctricas de varios países del mundo. Los principales son Dinamarca, Francia, España, Marruecos, Estados Unidos, Finlandia, Japón, Irlanda, Italia, Suecia, Alemania, Holanda y Hong Kong.

Para ferroaleaciones para promover la Reacción Química de Reducción. Los principales consumidores son Japón y Brasil.

La Industria Cementera usa el carbón para promover las reacciones de formación del Clinker (Cemento Bruto) a través de la combustión del carbón. Los principales clientes son: Puerto Rico, Panamá y Grecia.

4.3 CONCLUSION SOBRE LA CALIDAD DEL CARBON DEL CERREJON ZONA NORTE

Los carbones del Cerrejón son del tipo Bituminoso, alto en Volátiles tipos A, B, C según ASTM. Predominan los dos últimos y se exporta actualmente una mezcla de los carbones tipo B.

Se presenta un aumento en la calidad, con la profundidad estratigráfica y a lo largo de la cuenca de SW a NE.

El carbón presenta excelente calidad térmica comprobada con cuatro años de exportaciones y solicitudes de compra superiores a nuestra producción actual. Su Azufre bajo,

Ceniza relativamente baja, alto Poder Calorífico lo hace altamente competitivo en los Mercados Internacionales.

Los logros más importantes del grupo de Control de Calidad han sido el poder enviar el carbón a los clientes cumpliendo los valores típicos o promedios pactados y disminuyendo notablemente la variación de calidad por cada muestra oficial obtenida. Así como la disminución de producir polvo y la uniformidad del producto en cuanto a distribución de tamaño se refiere.

Por la multiplicidad de los mantos el yacimiento del Cerrejón es complejo y casi único en el mundo.

SUMMARY

The Quality control Division, part of the Technical Department of INTERCOR Operator, is in charge of the product quality control at the El Cerrejón North Zone mining complex. Strict quality control is necessary to assure the Company's position as a reliable and dependable coal producer in the International coal market.

This paper discusses various mining and market-related factors which influence product quality. It also reviews the methods which are used to assure adequate quality control over coal exports from the El Cerrejón North Zone complex.

Coal is mined using standard surface mining techniques. Individual coals are either crushed directly upon leaving the pit or stockpiled for blending purposes. The crushed/blended coal is stored in silos at the mine, loaded into unit trains, unloaded and stocked at Puerto Bolívar, and later loaded into vessels for export.

Market competition and changes in the world energy situation dictated a change from the initial one product philosophy to a multiple product line. These products fit the specific needs of clients in countries with specific environmental concerns or clients who have specific combustion or handling requirements.

To implement the multiple product strategy, a systematic blending system has been developed. Blending occurs at the Mine and the Port to assure product qualities which fall within contractual constraints.

The blending methods are based on estimated quality which comes from detailed knowledge of the geology and the impact of mining practices (rock dilution). Closely spaced grid drilling has permitted the development of a detailed data base. Using this data base, computer models of both geologic structure and coal quality have been developed.

Coal sampling methods have been developed to check product quality at every point in the coal handling process. Coals are sampled in the pit, in haulage trucks, in stockpiles, in silos, in trains, and ships. The samples are analyzed using rapid methods or ASTM/ISO methods in the INTERCOR coal laboratory.

Various computer tools are used in the quality control process. Mainframe applications are used in the geologic modeling process, but various microcomputer tools have been developed within the Quality Control Division to track coal flows and qualities, and to estimate shipment qualities and provide actual shipment certifications.