

# PROGRAMA DE ASISTENCIA TÉCNICA ESPECIFICA A EMPRESAS CONSUMIDORAS DE CARBÓN

ASTRID BLANDÓN<sup>1</sup>  
CARLOS M. CÁRDENAS<sup>2</sup>  
JUAN D. PERÉZ<sup>1</sup>  
LEONARDO F. VELÁZQUEZ<sup>2</sup>  
ERIKA ARENAS<sup>3</sup>  
FARID CHEJNE<sup>4</sup>  
ALAN HILL<sup>3</sup>  
JORGE A. RESTREPO<sup>4</sup>  
JUAN C. ROJAS<sup>4</sup>

## RESUMEN

La Empresa Colombiana de Carbones Ltda. (ECOCARBÓN), promovió un servicio de asistencia técnica específica en las diez principales empresas consumidoras de carbón en el Valle de Aburrá, con el fin de elaborar un Plan de Acción Específica (P.A.E.), para orientarlas en el uso del carbón en forma eficiente y limpia.

El Centro de Investigaciones del Carbón (C.I.C.) de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, lideró el proyecto y se encargó de los aspectos relacionados con la calidad y comercialización del carbón y el grupo de Energía y Termodinámica del Centro de Investigaciones para el Desarrollo Integral (C.I.D.I.) de la Universidad Pontificia Bolivariana, evaluó el proceso tecnológico de combustión y los aspectos ambientales.

## PALABRAS CLAVES

Asistencia técnica específica, carbón, calidad, comercialización, proceso de combustión, aspectos ambientales, Plan de Acción Específico (PAE).

## ABSTRACT

The Empresa Colombiana de Carbones Ltda. (ECOCARBÓN), promoted a specific assistance to the ten principal coal consumers in the Valle de Aburra, in order to elaborate a plan of specific action (P.A.E.), to orient them in the efficient and clean coal use.

The Centro de Investigaciones del Carbón (C.I.C.) of the Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, was the leader of the project and enclaged of the aspects of coal quality and commercialization and the group of Energía y Termodinámica del Centro de Investigaciones para el Desarrollo Integral (C.I.D.I.) of the Universidad Pontificia Bolivariana, evaluated the technological process of combustion and environmental aspects.

## KEY WORDS

Specific technical assistance, coal, quality, commercialization, process of combustion, enviromental aspects, plan of specific action (PAE).

<sup>1</sup>Profesor asistente Universidad Nacional de Colombia-Medellín.

<sup>2</sup>Ingeniero Químico. Investigador Centro de Investigaciones del carbón (CIC-UNAL)

<sup>3</sup>Ingeniero Químico. Investigador Grupo de Energía y Termodinámica (CIDI-UPB).

<sup>4</sup>Ingeniero Mecánico. Investigador Grupo de Energía y Termodinámica (CIDI-UPB)

## 1. INTRODUCCIÓN

En Colombia las reservas del carbón son mucho mayores que la de los hidrocarburos líquidos y gaseosos, y éstos depósitos se encuentran ampliamente distribuidos en todo el territorio nacional.

Antioquia cuenta con reservas medidas de 90 millones de toneladas que corresponden en gran parte a carbón térmico, éstas reservas son explotadas mediante minería subterránea por aproximadamente 20 minas medianas, en su mayoría comercializadoras, y más de cien minas pequeñas, las cuales abastecen el mercado departamental y del Valle del Cauca. Esta abundancia de reservas, productores y distribuidores aseguran la capacidad de suministro.

Aunque Antioquia cuenta con un carbón de buenas características para la combustión, en los procesos de explotación hay poco control de calidad; y el servicio de comercialización no está debidamente profesionalizado descuidando tanto la importancia de brindar el carbón certificado como la de un suministro oportuno. Las tecnologías utilizadas en el proceso de combustión están desactualizadas y en muchos casos no hay el suficiente control que permita que dichos procesos sean de la eficiencia requerida.

La asistencia realizada se centra en los mayores consumidores de Antioquia, éstos representan el 35% del consumo y el 38% de la producción en el departamento. Además cubren sectores como el textil, ladrillero, papelero, químico, alimentos y bebidas.

## 2. METODOLOGÍA

El proyecto se desarrolló en dos fases: En la primera fase el C.I.C. se encargó de promover el servicio de asistencia técnica en las 10 empresas propuestas por ECOCARBÓN.

La segunda fase se orientó a plantear soluciones a los problemas específicos manifestados por cada entidad, mediante un diagnóstico integral de un estudio

técnico-económico para la elaboración del Plan de Acción Específico (P.A.E.), orientado al mejoramiento de los procesos.

La metodología seguida en la ejecución de la Asistencia Técnica Específica, adoptada de acuerdo al tipo, tamaño y a la cantidad de equipos de cada empresa, se ilustra en la Figura 1.

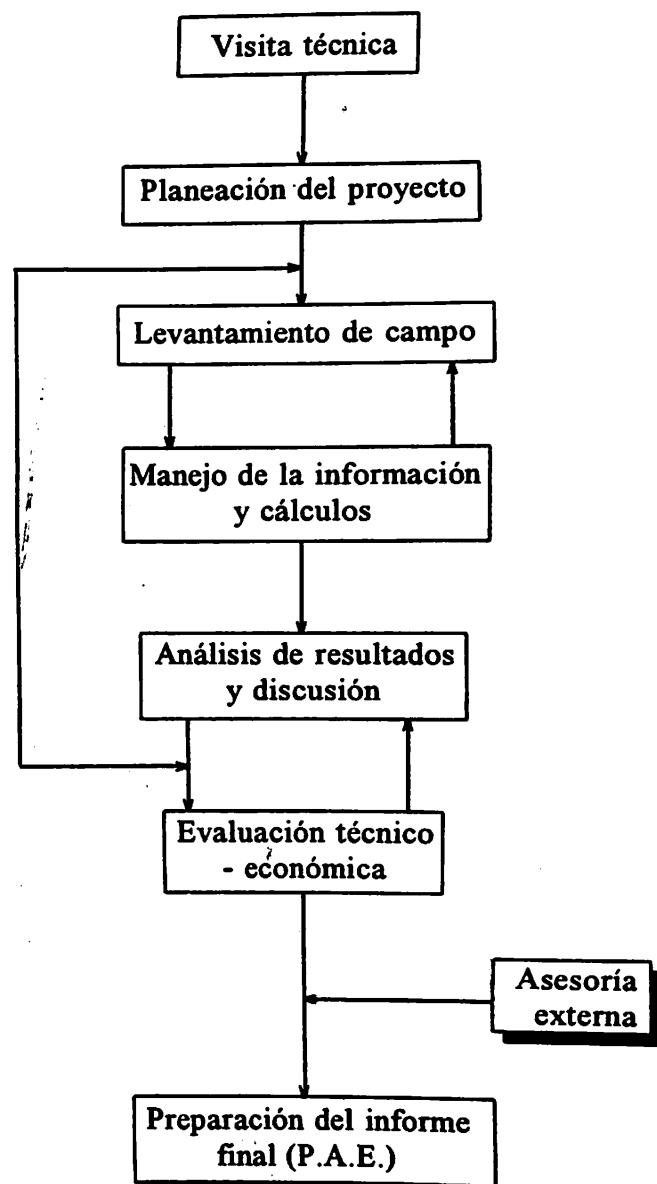


Figura 1. Procedimiento llevado a cabo en la asistencia técnica específica

## **2.1. ASPECTOS COMERCIALES Y DE CALIDAD**

En el aspecto comercial, se investigó sobre los proveedores, costos y contratos de compraventa. Con respecto a la calidad se revisó el control de calidad del carbón, métodos de muestreo y procesos de análisis.

Para definir la eficiencia en la utilización del carbón se procedió a efectuar muestreos representativos del carbón, de las cenizas producidas durante la combustión, los gases desprendidos, el material particulado, las temperaturas de las calderas y hornos etc.

Las muestras de carbón y ceniza fueron llevadas al C.I.C. y allí se efectuaron análisis granulométricos, análisis próximos completos, elementales y fusibilidad de cenizas.

## **2.2. ASPECTOS ENERGÉTICOS Y AMBIENTALES**

Para determinar la eficiencia de operación de los equipos analizados, se realizaron balances de materia y energía con base en mediciones de humedad del aire de combustión, de composición de los gases de combustión utilizando un equipo Bacharach modelo NSX-300, el cual registra NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, exceso de aire y temperatura. En forma simultánea se realizaron análisis Orsat con equipo convencional y muestreos isocinéticos con el objeto de establecer emisiones de material particulado. Simultáneamente, se muestreó el combustible y las cenizas para determinar su composición y poder calorífico y se tomaron los datos de producción de vapor, obra, material seco, etc., según el caso y de consumo de combustible durante el tiempo en que se realizaron las mediciones. Es importante anotar que en algunas oportunidades se efectuaron mediciones con excesos de aire diferentes.

Es frecuente encontrar equipos cuyo régimen de operación es por tandas, como es el caso de algunos hornos. En este caso los balances de masa y energía se efectuaron de forma diferencial realizando un seguimiento de las diferentes variables en el tiempo e integrándose para determinados períodos con el

objetivo de tener un buen control sobre las diferentes etapas del proceso. También se realizó el balance para el bache completo, con valores promedios cuando la curva del proceso lo permitió.

## **3. DIAGNÓSTICO**

### **3.1. ASPECTOS COMERCIALES**

El carbón se compra en la mayoría de los casos puesto en planta, y el precio varía de acuerdo a la granulometría.

Algunas empresas compran el carbón a diferentes proveedores de la zona, pero no realizan en la mayoría de los casos contratos de compra venta a largo plazo.

Otras empresas prefieren trabajar con un solo proveedor porque de esta manera obtienen homogeneidad en la calidad del carbón, riesgo ya que ocasionalmente se pueden presentar problemas de suministro.

Es conveniente que exista un compromiso del proveedor para garantizar la seguridad en el suministro y asegurar la calidad, por esta razón es preferible comprar el carbón al dueño de la mina y no a los comercializadores de éste.

### **3.2. ASPECTOS DE CALIDAD**

Es común pensar que los carbones de la zona de Amagá son muy homogéneos y debido a problemas económicos y varias empresas no realizan análisis para control de la calidad del carbón que compran. Las empresas que efectúan algunos de estos análisis no llevan a cabo un control efectivo de la calidad del carbón ya que el muestreo del carbón no se hace en forma adecuada y no se cumplen con las normas para efectuar los análisis.

En algunos casos las empresas compran carbón a proveedores que certifican la calidad, pero muy pocos pueden brindar este servicio. Los pequeños consumidores de carbón evalúan visualmente la calidad del carbón que están comprando.

Existe poco conocimiento de la calidad real de los carbones porque en general se considera que es suficiente tener el contenido de humedad y cenizas, y no tienen en cuenta las otras especificaciones de calidad requeridas para las cuales fueron diseñados los equipos.

### 3.3. ASPECTOS ENERGÉTICOS

En las diferentes empresas que fueron objeto de estudio se analizaron calderas de diferentes tipo de tecnología que utilizan carbón. Entre ellas se cuentan el tipo Spreader Stoker con parrilla fija del tipo dumping, del tipo pirotubular de parrilla móvil y calderas de potencia que operan con carbón pulverizado del tipo VU- Vertical Unit Boiler.

También se analizaron hornos con régimen de operación a tandas, en los cuales la alimentación del carbón se realiza por medio de un tornillo que opera a una rata predeterminada, el vaciado de cenizas de fondo y la descarbonillada de las parrillas se realiza en forma manual y discontinua.

Para las calderas del tipo Spreader Stoker con parrilla fija tipo dumping estas se encontraron trabajando con eficiencias que oscilan entre el 70 y el 80%. Se observó que la eficiencia baja en este tipo de calderas se debe a una alta temperatura de los gases de chimenea y a altos excesos de aire, se realizaron ensayos variando el exceso de aire, aumentando la eficiencia un 2%. El porcentaje de pérdidas por in quemados osciló entre el 0.9 y 1.1%, sin existir una relación entre el exceso de aire y estos valores. En la figura 2 se presenta la correlación entre el porcentaje de carga y las pérdidas por in quemados que se obtuvo de diferentes ensayos. Se observa que al aumentar el factor de carga, aumenta el porcentaje de in quemados. Se estima que en una carga superior al 80%, el porcentaje de in quemados puede oscilar entre el 1.5 y 2.0%.

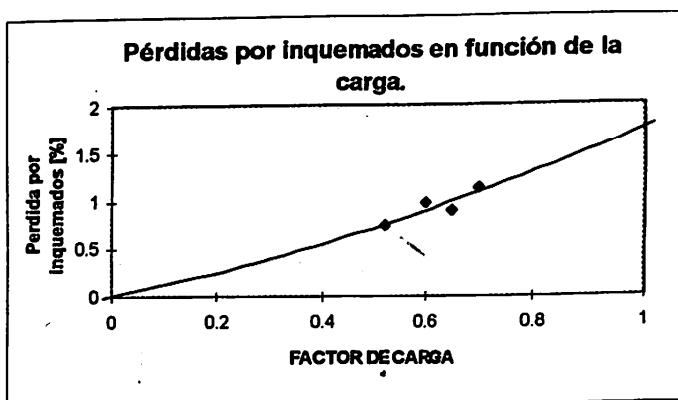


Figura 2. Comparación entre el factor de carga y el porcentaje de pérdidas de calor por carbón no quemado en las cenizas

Las calderas de carbón del tipo pirotubular de parrilla móvil se encontraron trabajando con eficiencias entre el 73 y el 77%. Estos valores se ven afectados por el mantenimiento de los equipos, el bajo porcentaje de carga con el cual operan y el exceso de aire. Cuando éste es del orden del 40% se presenta alta cantidad de in quemados por la generación de CO. Con excesos de aire del orden del 60% el CO disminuye notablemente y la eficiencia aumenta en un 2%.

En ambos tipos de calderas la relación vapor/carbón se situó en un rango entre 7 y 8 kg vapor/kg carbón. En algunos casos a pesar de encontrarse una alta eficiencia, se encontraron valores de la relación vapor/carbón un poco más bajos de los que se presentaba con eficiencias menores debido a una disminución en los poderes caloríficos de los carbones utilizados en los ensayos.

En las calderas de carbón pulverizado, la eficiencia varió entre el 80 y el 83%. La eficiencia se afecta por el exceso de aire y el porcentaje de in quemados en las cenizas. En algunos ensayos se encontró que estos equipos operaban con defecto de aire aumentando la generación de CO, es posible obtener eficiencias del orden del 85% aumentando el exceso de aire a valores del orden del 15%. En otros casos a pesar de operar con excesos del 25%, el cual es normal para este tipo de calderas, el porcentaje de pérdidas asociado a la presencia de in quemados en las cenizas fue del orden del 2,5%. La causa probable de este problema es la

presencia de un carbón de granulometría un poco superior a la recomendada para este tipo de equipos.

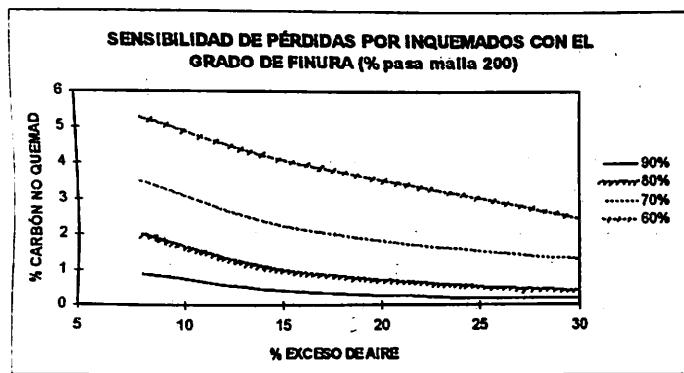


Figura 3. Sensibilidad de pérdidas por in quemados con el grado de finura

En la Figura 3 se presenta el efecto de la granulometría del carbón sobre el porcentaje de in quemados, se observa que al aumentar el porcentaje de carbón que pasa por malla 200 disminuye el porcentaje de pérdidas por in quemados.

Otro problema que se presenta es la aglomeración de escoria. Este fenómeno está asociado a bajos excesos de aire, a granulometrías no muy finas (por encima de malla 50) y a la frecuencia de deshollinado.

Debe anotarse que el rendimiento del vapor con respecto al carbón para cualquier tecnología también se afecta por el nivel de purgas en el equipo. Se encontraron casos donde las purgas sobrepasaban el 10% del suministro de agua.

En el caso de hornos que operan a tandas, el exceso de aire se encuentra entre unos valores de 100 y 240%, siendo el valor promedio del orden de 160 %, el cual es un valor alto para quemadores de este tipo de combustible. Sin embargo, teniendo en cuenta que cierta etapa del proceso total corresponde al secado de la obra, el cual requiere altas cantidades de aire, es difícil operar el sistema con menores excesos. Para las otras etapas, calentamiento y cocción, es recomendable controlar el exceso de aire a los valores mínimos recomendables que son del orden del 80 %.

En cuanto al balance de energía es importante resaltar la alta pérdida de energía por los gases, asociada al tipo de proceso. No obstante, en muchos casos, se aprovecha toda la energía desechada en estos gases como energía secundaria en procesos como secado, calentamiento de agua, etc.

Las pérdidas asociadas a las paredes y acumulación de energía representan el 30 % de la energía aportada al proceso. Se estima que la energía susceptible a ser recuperada del aire de enfriamiento es del orden del 19 %. Las pérdidas por in quemados representan el 5,5 % de la energía aportada.

### 3.4. ASPECTOS AMBIENTALES

Para las calderas del tipo Spreader Stoker con parrilla fija tipo dumping se observó que el dióxido de azufre presentó valores que oscilaron entre 150 y 240 ppm, dando origen a factores de emisión entre 0,29 y 0,33 g/MJ. Con respecto al contenido de monóxido de carbono puede decirse que se presentaron valores comprendidos entre 20 y 200 ppm los cuales son valores aceptables. Con respecto a los óxidos de nitrógeno tomados como NO<sub>2</sub>, se obtuvieron valores que variaban entre 200 y 400 ppm originando factores de emisión entre 0,29 y 0,38 g/MJ.

En las calderas pirotubulares de parrilla viajera se observó que el dióxido de azufre presentó valores que variaban entre 350 y 500 ppm, dando origen a factores de emisión entre 0,36 y 0,46 g/MJ. Con respecto al contenido de monóxido de carbono puede decirse que se presentaron valores comprendidos entre 250 y 1500 ppm. Con respecto a los óxidos de nitrógeno tomados como NO<sub>2</sub>, se obtuvieron valores del orden de 150 ppm originando factores de emisión entre cercanos al rango 0,22-0,25 g/MJ.

En las calderas de potencia que operan con carbón pulverizado se obtuvieron valores de emisiones de SO<sub>2</sub> que oscilaron entre 400 y 700 ppm originando factores de emisión cercanos a 0.38 g/MJ el cual se considera como un valor normal. En lo que a las emisiones de óxidos de nitrógeno se refiere se encuentran valores de 200 ppm los cuales generan factores de emisión cercanos al rango 0.23-0.32 gm/MJ que es considerado como normal.

En general se concluye, de los análisis de emisiones de material particulado, que las empresas cuentan con los dispositivos de control adecuados. Las cenizas volantes se recogen en ciclones y en las calderas de carbón pulverizado, en donde el porcentaje de cenizas volantes es superior al 60%, se adiciona filtros de talegas.

## 4. ACCIONES ESPECÍFICAS

### 4.1. ASPECTOS COMERCIALES

Los contratos de compraventa de carbón se deben realizar directamente con los productores dueños de las minas, asegurándose de que éstas estén legalizadas, profesionalizadas, que conozcan las reservas y certifiquen la calidad. Éstos se deben soportar en cláusulas que permitan lo siguiente:

- " Obviar en gran medida los problemas de estacionalidad (cosecha cafetera)
- " Autorizar a la empresa para realizar correctivos desde el punto de vista de calidad (Interventorías en la mina)
- " Cumplimiento en la cantidad requerida y en la continuidad de suministro

Debe llevarse un registro y control de los proveedores. Para las condiciones de operación de la caldera se debe mezclar los carbones provenientes de las diferentes minas en forma adecuada.

Debe establecerse en los contratos un sistema de premios y penalización por su calidad, para lo cual el proveedor deberá certificarla mediante análisis efectuados periódicamente. Los resultados de éstos deberán cumplir con los requerimientos especificados en el diseño de los equipos utilizados en el proceso de combustión.

### 4.2. ASPECTOS DE CALIDAD

Las personas que trabajan con el carbón, deben realizar un buen muestreo, ya que de este depende la confiabilidad en los resultados de los análisis. Para

que el muestreo no sea parcializado, lo debe efectuar una entidad diferente al proveedor.

Dentro de la caracterización de la calidad de carbones "nuevos" se debe incluir el índice de molienda Hardgrove, los análisis químicos y de fusibilidad de cenizas, para determinar la susceptibilidad al encostramiento y depositación durante la combustión. Igualmente las empresas deben caracterizar periódicamente y en forma simultánea, el carbón y las cenizas producidas en la combustión para verificar el funcionamiento de los equipos y mejorar el sistema de quema.

Las empresas que cuentan con equipos de laboratorio deben trabajar con métodos estandarizados, para lo cual existen normas internacionales como la ASTM y la ISO, que indican los procedimientos a realizar para el muestreo y la determinación de los análisis inmediatos, y granulométricos. Un buen muestreo es importante porque allí se puede originar aproximadamente el 80% de los errores en los resultados.

Como procedimiento para chequear la calidad del carbón que llega a las empresas se recomienda chequear con frecuencia la consistencia con el certificado de calidad. Periódicamente, se pueden mandar a analizar muestras de carbón a laboratorios certificados o analizar muestras patrón que verifiquen los resultados que se obtienen en la empresa y que permita garantizar confiabilidad en el procedimiento utilizado.

Un límite importante para que se realice un control de calidad eficiente, es el tiempo que dura la realización de los análisis, ya que normalmente obtener los resultados gasta aproximadamente 3 días. Para una empresa esto puede originar problemas de almacenamiento y consecuentemente de inventario. El C.I.C. desarrolló un proyecto de homologación de equipos con bajos costos de adquisición, que trabajan en otras condiciones y con un buen rango de confiabilidad reduciendo enormemente el tiempo de duración a aproximadamente 5 horas.

Respecto a las cenizas volantes y algunas de fondo, una caracterización adecuada y completa con el fin de aprovecharlas como un subproducto industrial en la construcción, permite venderlas a un precio razonable, obteniéndose dos grandes beneficios: El primero es de tipo económico, ya que se presentaría una disminución en el costo de los productos que contienen cenizas volantes e indirectamente en el costo del carbón; y el segundo es la disminución del impacto ambiental que causan cuando se acumulan y manejan sin ningún control.

Para mejorar la calidad de las cenizas volantes y poderlas utilizar en cemento Portland y hormigones con cemento Portland, se debe rebajar el porcentaje de in quemados y el retenido en la malla No. 325 (45). Para rebajar el porcentaje de in quemados se puede pensar en llevarlas nuevamente a la zona de combustión, con el fin de quemarlas y aprovechar su valor térmico. La granulometría puede corregirse, siempre y cuando las cenizas cumplan las otras especificaciones; ya que se pueden separar por tamizado durante la captación.

La identificación del problema de encostramiento de las cenizas requiere de un estudio de la composición química y temperatura de fusión de la ceniza apórtada por el carbón. Un incremento de los minerales fundentes disminuye el punto de fusión aumentando la propensión a la formación de escoria. Igualmente se debe revisar la granulometría del carbón pulverizado que se alimenta al hogar de la caldera, la temperatura del hogar y su relación con la variación del aire alimentado.

#### 4.3. ASPECTOS ENERGÉTICOS

En general se observó que la eficiencia de los equipos se afecta por el exceso de aire con el cual operan. Por lo tanto, se deben realizar chequeos periódicos del porcentaje de oxígeno que sale con los gases de combustión y verificar que este valor no sea superior al 9.5% en el cual no se presentó valores altos de CO para el caso de las calderas tipo Spreader Stoker, para calderas pirotubulares de parrilla viajera de acuerdo a las mediciones efectuadas, el exceso de aire adecuado debe estar entre el 50% y el 60%, esto

corresponde a valores de oxígeno entre el 7% y 8%. Para carbón pulverizado se recomienda trabajar con exceso de aire entre el 15% y 30%, los cuales corresponden a medidas de oxígeno del orden de 3% al 6% en los gases de combustión, sensados antes de los equipos de control de emisiones.

Por lo tanto se debe llevar a cabo un plan tendiente a instalar sensores de O<sub>2</sub> y CO, en los casos en los cuales la empresa no los tiene, y realizar un plan de monitoreo continuo de la composición de los gases de combustión con el propósito de mantener el exceso de aire en los valores mencionados.

En cuanto al factor de carga con el cual estaban trabajando algunas de las calderas durante los ensayos fue menor del 70%, la eficiencia de las calderas se afecta con dicho porcentaje. Debe establecerse un plan, hasta donde lo permita el régimen de producción, tendiente a operar las calderas a porcentajes de carga que superen el 80% y realizar mediciones de material particulado, análisis de las características de las cenizas y balances de masa y energía con las calderas con el propósito de determinarse el rango óptimo de operación de los equipos.

La alta temperatura de los gases es otro factor que afecta la eficiencia de estos equipos. En este caso se recomienda establecer un plan riguroso que permita establecer cada cuanto tiempo debe realizarse el mantenimiento total y el deshollinado de las calderas y en el caso de temperaturas muy altas (alrededor de 300 °C) estudiar la factibilidad de instalar un precalentador de aire que recupere esta energía que sale con los gases de combustión.

Lo anterior, además de reducir la temperatura de salida de los gases, disminuiría las emisiones absolutas.

Igualmente se observó que el rendimiento de vapor frente al carbón puede ser mas alto a pesar de tenerse una menor eficiencia, lo cual se debe a que el carbón utilizado posee un mayor poder calorífico. Lo anterior indica que deben hacerse chequeos periódicos con el objeto de ejercerse un control sobre la calidad del carbón que se compra especialmente en

lo relacionado con el poder calorífico y el contenido de humedad y cenizas.

En las calderas de carbón pulverizado, otro problema que se presenta es la aglomeración de escoria. Al respecto, en la literatura se indica que este fenómeno está asociado a bajos excesos de aire, a granulometrías no muy finas (por encima de malla 50) y a la frecuencia de deshollinado. Cuando este problema se presenta debe procurarse por incrementar los excesos de aire o ejercer un mayor control sobre la granulometría del carbón una vez pulverizado, se recomienda que el porcentaje que pasa por malla 200 sea superior al 80%, y/o realizar el deshollinado con mayor frecuencia.

En general, cuando se trata de optimizar la combustión y en particular del carbón, las empresas deben poseer un sistema completo de monitoreo. Este sistema debe estar comprendido al menos por flujo de combustible, flujo de vapor, sensores de oxígeno y monóxido de carbono en los gases y sensores de temperatura en la alimentación del agua y los gases. No basta con poseer estos medidores, es importante mantener una buena calibración de los mismos ya que el índice kg vapor/kg combustible es un buen indicativo del funcionamiento del equipo y de la calidad del combustible. Por lo tanto, se plantea adelantar un plan con el propósito de instalar estos medidores en las empresas que no dispongan de ellos, con el objeto de realizar periódicamente balances que permitan evaluar los diferentes parámetros de operación y así mantener las calderas en una eficiencia óptima.

En el caso de los hornos que operan por tandas, normalmente presentan consumos específicos que oscilan entre los 2000 y los 4000 kJ/kg de obra mayores que el requerido. Para lograr una disminución de estos consumos se propone establecer un plan de acción específica tendiente a estudiar aspectos como, la distribución de la carga, la implantación de un sistema de control de temperatura en la atmósfera y la obra y de O<sub>2</sub> en los gases que actúe sobre la alimentación de carbón y del flujo de aire.

Adicionalmente, se propone diseñar un plan de acción para aprovechar la energía acumulada, en las paredes

y la obra, en los procesos de secado y precalentamiento en otros hornos o en un intercambiador de calor donde se puede precalentar agua o aire.

También se encontró un alto contenido de carbón en las cenizas de combustión, por lo cual, se propone diseñar un plan de acción para verificar el estado de las parrillas y su posible innovación, implementar una metodología de atizado periódico y operar el quemador con una distribución homogénea de partícula que posea tamaños que varíen entre 1 y 2 centímetros de diámetro equivalente.

Finalmente, las empresas deben establecer un plan de acción, que les permita cuantificar los diferentes consumos y las productividades de los equipos asociados con el manejo del carbón y que utilizan energía eléctrica como insumo, con el objeto de optimizarlos y costear de forma ajustada el valor operacional agregado.

#### 4.4. ASPECTOS AMBIENTALES

En general, el carbón recibe un tratamiento ambiental adecuado. Cuando se produce la descarga del carbón desde las volquetas al sitio de almacenamiento se genera algo de material particulado. Sin embargo, la cantidad de emisiones generada no es muy alta dada la baja frecuencia de descargue y la alta granulometría con la cual ingresa el carbón.

En el caso del almacenamiento a granel del carbón, sería recomendable tratar de encerrar y proteger un poco más el carbón almacenado en el patio principal, puesto que si éste o parte permanece a la intemperie, puede dar origen a incrementos en el porcentaje de humedad afectando la eficiencia y el rendimiento de los equipos consumidores, a riesgos de incendio, contaminación por arrastre de partículas debido a corrientes de aire, etc.

Debe llevarse a cabo un plan de medición de material particulado cada seis meses el cual permite evaluar la eficiencia de los sistemas colectores y así ejercer un control sobre el mantenimiento de estos equipos. Estas mediciones pueden efectuarse a diferentes

cargas con el objeto de estudiar su comportamiento. En cuanto a la disposición de cenizas, éste es uno de los mayores problemas que se presentan en el manejo del carbón. Actualmente, existen diferentes alternativas para su uso sin ser muy definidas. Su utilización se inclina a la industria cementera, cerámica, asfáltica, ladrillera, de la construcción y de abrasivos entre otros.

## 5. CONCLUSIONES

En general los carbones utilizados en las calderas y hornos de las industrias consumidoras de carbón en Antioquia provienen de la zona de Amagá, el 75% de dichos carbones se clasifican como sub-bituminosos A y bituminosos altos en volátiles C, tienen un poder calorífico adecuado para generar vapor y energía, sin embargo cuando la humedad y las cenizas se incrementan por encima del 10% el poder calorífico disminuye ostensiblemente y la eficiencia de la combustión se hace menor.

Por otra parte, la combustión de dichos carbones es más eficiente cuando se utilizan calderas de carbón pulverizado, porque normalmente estas tienen entrada de aire secundario que sirve para quemar las materias volátiles combustibles que se desprenden del carbón, que en caso de los carbones de bajo rango como los de Amagá es muy alta. Cuando no se tiene la posibilidad de quemar estas materias volátiles combustibles como sucede en los equipos que no utilizan aire secundario, la eficiencia de la combustión se disminuye notablemente, desperdi ciándose mucho del potencial energético del carbón.

En las calderas de parrilla viajera, parrilla fija y hornos, el tamaño de las partículas es muy importante al igual que el lecho de carbón, ya que si el carbón es muy fino, este tapona los orificios por donde entra el aire primario y por lo tanto la combustión no es completa; si el tamaño es muy grande el tiempo de residencia del carbón en el hogar de la caldera debe ser mayor para que se queme completamente; igualmente si el espesor de la capa de carbón es muy grande, el aire primario no será capaz de atravesar dicha capa y por lo tanto tampoco se quemaría totalmente.

De igual manera si hay mucha heterogeneidad en la granulometría, la combustión de las partículas grandes sería incompleta.

Debido a las diferencias en las condiciones de depositación de los carbones, la composición química de las cenizas son variables y en algunos casos tienen mayores porcentajes de Na, Ca y Fe que hacen que el punto de fusión de las cenizas sea menor y por lo tanto se presenta depositación y encostramiento. Este problema es mayor en las calderas que usan carbón pulverizado porque el hogar alcanza mayores temperaturas que en otros sistemas de combustión.

Para que las cenizas no presenten problemas de depositación y encostramiento, el contenido de álcalis debe ser menor de 0.4%, el índice de molienda hardgrove debería ser mayor de 50, la temperatura de fusión de las cenizas debe ser mayor de 1.204°C, el índice de depositación (fouling) debe ser menor de 0.05 y el de encostramiento (slagging) menor de 2.

En las calderas de parrilla viajera, el lecho del carbón debe ser menor de 12 cm y el tamaño de grano entre 3 y 5 cm; de igual manera no debe haber muchas diferencias en el poder calorífico del carbón de alimentación y el contenido de humedad y cenizas debe ser inferior al 15%. De otro lado el poder calorífico del carbón no debe ser muy alto, porque se corre el riesgo de que se fundan las parrillas.

En general, se debe tratar que las características del carbón no varíen mucho para poder garantizar una combustión eficiente. Para saber que características tiene el carbón es necesario efectuar los análisis correspondientes antes de utilizar el carbón y no cuando ya se han presentado los problemas.

## REFERENCIAS

- [ 1 ] SINGER, J.G. "Combustion Fossil Power". Combustion Engineering, Inc. Cuarta Edición. 1.991.
- [ 2 ] David Gunn - Robert Horton. "Industrial Boilers". Tercera Edición. 1.989.