

# DETERMINACIÓN CONTINUA DE LA HUMEDAD DEL CARBÓN TÉRMICO MEDIANTE BARRIDO DE MICROONDAS

## RESUMEN

Aunque en el momento actual la utilización del gas natural se presenta como una alternativa, y las renovables se encuentran en pleno auge, el carbón dista mucho de ser una fuente de energía en vías de abandono.

Su ventaja frente a otros combustibles está en su precio pero su inconveniente es que produce alta contaminación. En consecuencia, parece clara la necesidad de desarrollar y potenciar al máximo las tecnologías de uso limpio del carbón. El desarrollo de tecnologías para el aprovechamiento óptimo del carbón tiene un importante punto de apoyo en el desarrollo de técnicas no destructivas para su análisis en tiempo real.

Un parámetro importante para el uso térmico del carbón es su contenido en humedad, resultando altamente interesantes las posibilidades que, para esta aplicación, ofrecen los sistemas basados en la utilización de microondas.

## 1. INTRODUCCIÓN

Cumplir con las regulaciones medioambientales es cada vez más importante en las centrales térmicas en general y en las que queman carbón en particular, por la competencia que suponen otras fuentes de energía cuyas emisiones de dióxido de carbono son sustancialmente menores. Una manera de conseguir estos objetivos es mejorar la eficiencia del ciclo y del comportamiento del combusti-



José Mª Santurio Díaz  
Ingeniero Industrial.

José Manuel Vega Francos  
Ingeniero Industrial.

Laboratorio de Máquinas y Motores  
Térmicos. E.T.S. de Ingenieros  
Industriales de Gijón.



Por tanto, es interesante poder evaluar y predecir el comportamiento del carbón en la central termoeléctrica y cómo hacer los ajustes operacionales necesarios

para hacer frente, en tiempo real, a las oscilaciones en sus características.

En los últimos años, se han hecho esfuerzos importantes para desarrollar equipos capaces de realizar la medición continua de la cantidad y calidad del carbón pulverizado para calderas. Paralelamente se han desarrollado nuevos algoritmos para el cálculo de flujos sólidos. En ambos casos, se han puesto en el mercado nuevos prototipos y productos que es de prioridad probar bajo condiciones similares a las de funcionamiento real en la central.

ble, que llevaría consigo la necesidad de quemar menos cantidad para obtener la misma energía útil.

El comportamiento del carbón térmico durante la combustión en la caldera está influido por circunstancias tales como su naturaleza y procedencia, las condiciones operativas impuestas o las limitaciones de diseño de la propia caldera y afecta al funcionamiento global de la central, a los costes de generación de energía eléctrica y, por último aunque no menos importante, al impacto medioambiental.

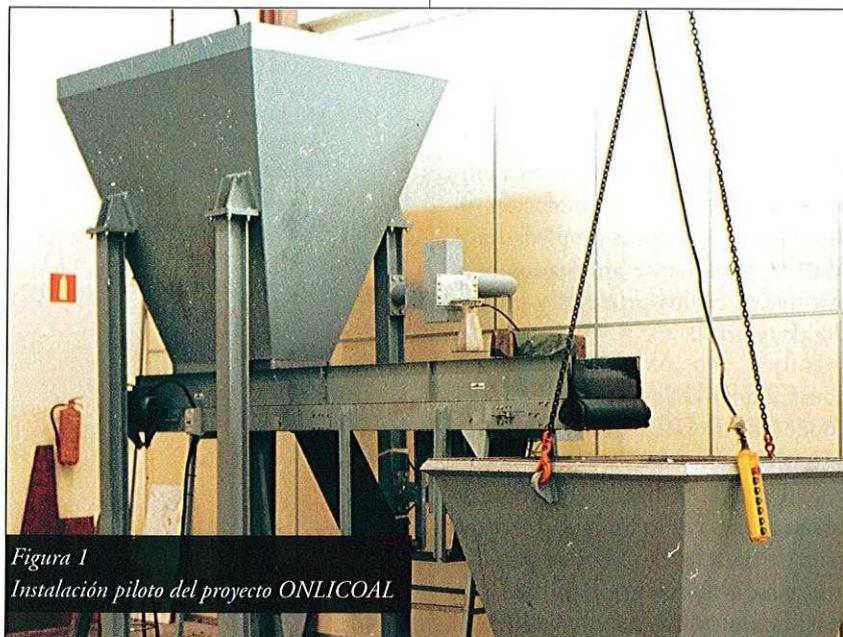


Figura 1  
Instalación piloto del proyecto ONLICOAL

## 2. ANÁLISIS DEL CARBÓN

El conocimiento de las propiedades físicas y químicas del carbón requiere el uso de una serie de técnicas y procedimientos de análisis debidamente normalizados. Las normas, al igual que

los equipos y procedimientos analíticos que se utilizan, son revisados y mejorados continuamente, para atender las exigencias del mercado y lograr los resultados más satisfactorios con las técnicas más fiables.

Los dos tipos de análisis habituales en la clasificación y determinación de las propiedades químicas de los carbones, son:

a) **Análisis inmediato:** Proporciona las cantidades relativas a humedad, materias volátiles, cenizas, carbono fijo y poder calorífico.

b) **Análisis elemental:** Sirve para determinar los contenidos totales de los principales elementos químicos presentes en el carbón: carbono, hidrógeno, azufre, nitrógeno y oxígeno.

Las técnicas utilizadas habitualmente en las instalaciones industriales para determinar las propiedades del carbón suelen basarse en el análisis químico conforme al procedimiento y duración especificados en la Norma correspondiente. Esto precisa unos tiempos de realización de los ensayos relativamente largos y la selección de muestras representativas.

Los sistemas de análisis en tiempo real permiten la determinación rápida y continua de sus propiedades, y resultan totalmente adecuados para integrarlos en los procesos y en bucles de control.

## 3. DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DEL CARBÓN EN TIEMPO REAL

El agua está ligada al carbón de dos maneras: como humedad y como agua de constitución. Por su parte, la humedad se presenta bajo dos formas: como humedad externa (en el

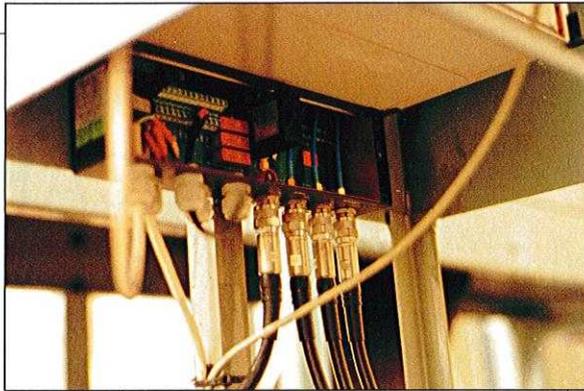


Figura 2. Vista del LB-356.

b) ópticos: Reflexión de rayos infrarrojos.

c) Eléctricos: Capacitivos, resistivos y microondas.

## 4. MÉTODO DE BARRIDO DE MICROONDAS

Consiste en medir la atenuación y el cambio de fase que experimenta un haz de microondas al atravesar un material (en nuestro caso, carbón húmedo).

La atenuación está relacionada con la constante dieléctrica del material atravesado; cuando esta técnica se aplica a la medida de humedad en el carbón, el agua absorbe más energía de microondas que el resto de sustancias presentes en el mismo. Por otra parte, el haz de microondas, al propagarse a diferente velocidad dependiendo de la naturaleza dieléctrica del medio, sufre también una variación de fase a su paso por la capa de carbón.

La medición de la atenuación y desplazamiento de fase, conjuntamente o por separado, utilizando un

exterior de las partículas) y la humedad interna (retenida en los poros y capilares).

Aunque la reducción del calor utilizable es el factor más determinante desde un punto de vista energético, existen otros factores no menos importantes en procesos productivos sobre los que la humedad tiene una notable influencia: aumento de peso por unidad energética, dificultad de manipulación, posibilidad de congelación en invierno.

Los métodos de análisis de humedad de forma continua comprenden:

a) Nucleares: Resonancia magnética nuclear y Moderación de neutrones.

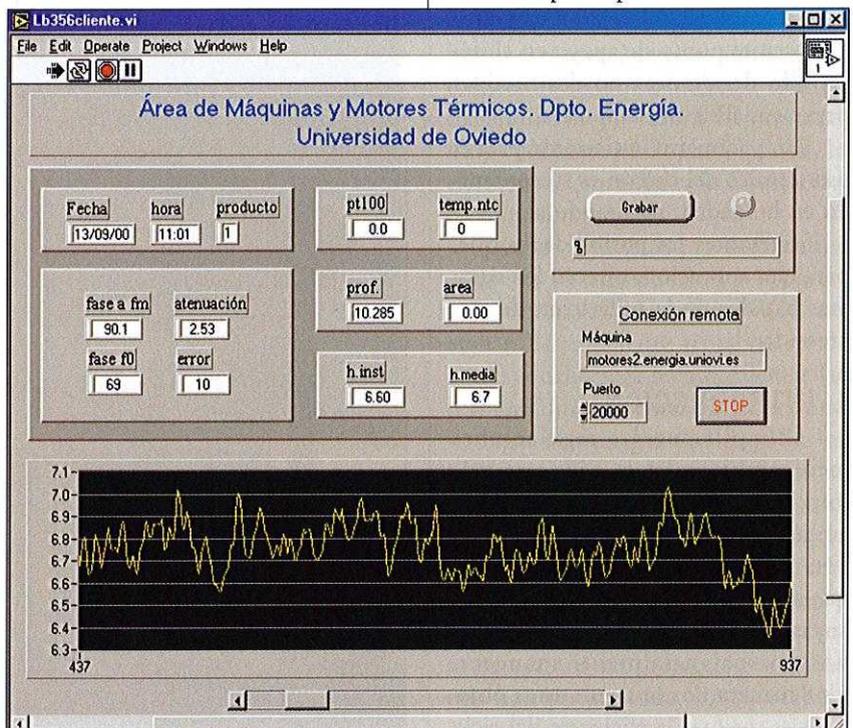


Figura 3. Cuadro de visualización de datos.

equipo electrónico apropiado hace posible determinar el contenido en humedad.

Mediante diversas investigaciones se ha determinado que, si bien la simple medida de la atenuación sería suficiente, la combinación de ésta junto con el desplazamiento de fase permite resultados menos afectados por factores tales como el tamaño de partícula o las variaciones de temperatura, y en consecuencia da lugar a mediciones más precisas.

También existen numerosos trabajos en los que se buscó el mejor rango de frecuencias para estos propósitos de análisis de la humedad. En los detectores actuales se vienen utilizando microondas en el rango de 1 a 10 GHz.

En la actualidad, las técnicas de transmisión de microondas están siendo seleccionadas con preferencia a otras, como las capacitivas, dado que presentan la ventaja de un análisis que no es sensible a la segregación de la humedad en el carbón en las cintas transportadoras.

### 5. PROYECTO ONLICOAL

El equipo de trabajo del Área de Máquinas y Motores Térmicos en la E.T.S.I.I. de Gijón viene realizando, desde diciembre de 1998, trabajos de análisis de carbones en tiempo real dentro del Proyecto CECA: "ECSC Project 7220-PR/046" (ONLICOAL), cuya finalización está prevista para diciembre de 2001. Una parte

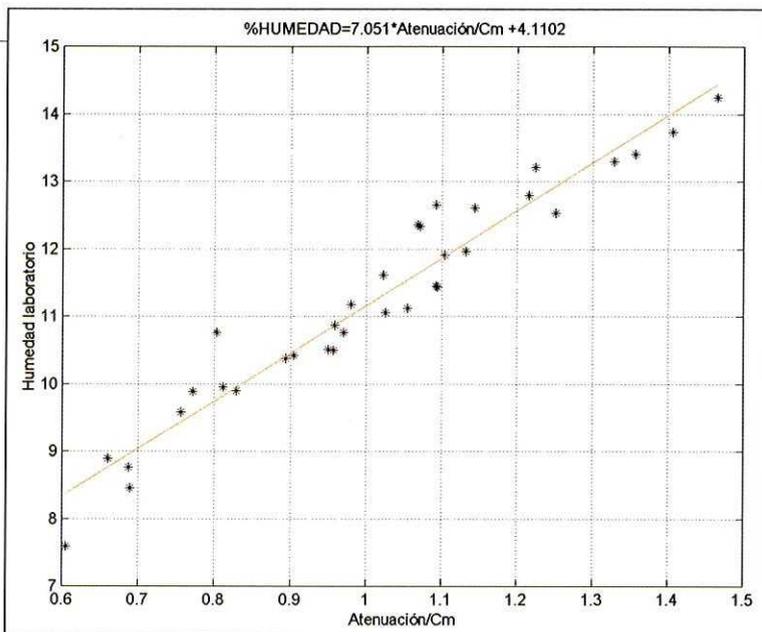


Figura 4. Recta de calibración utilizando atenuación.

de las investigaciones se centran en el uso de las microondas para la determinación de la humedad.

Dada la heterogeneidad del carbón (con notables variaciones en función su procedencia), se utilizan diversos tipos así como mezclas de los mismos, tratando siempre de obtener unos resultados con la mayor amplitud de aplicación posible.

La toma de datos se realiza en

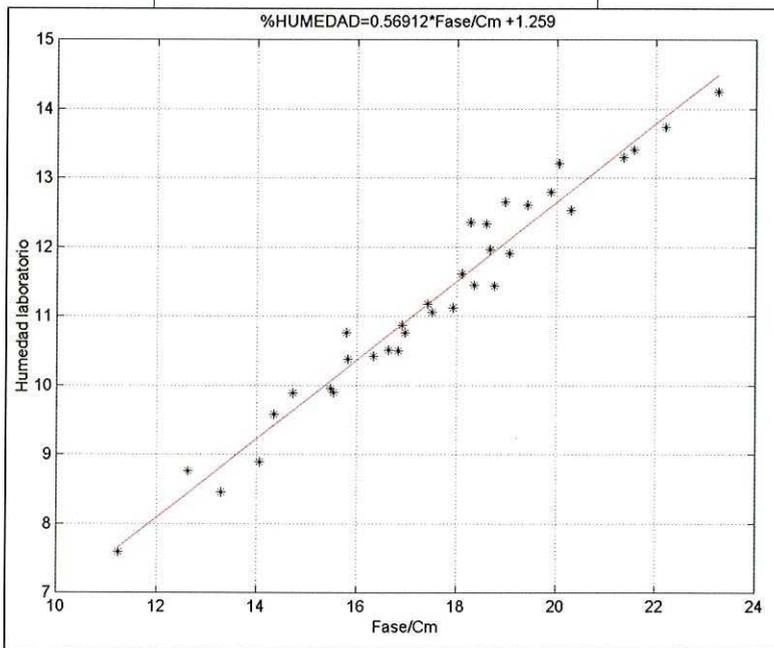


Figura 5. Recta de calibración utilizando variación de fase.

una instalación piloto (Fig. 1), que simula el sistema de alimentación de carbón a un molino de una central térmica. El combustible es transportado por una cinta de sección rectangular que atraviesa una zona donde se encuentran dispuestos los sensores.

Con el fin de realizar ensayos a diferentes grados de humedad, el carbón es humedecido de manera uniforme y gradual a cada pasada por la cinta, mediante un sistema de pulverización de agua por aire comprimido, con el que se obtienen variaciones del orden del 0,4%.

El equipo de medida es una unidad comercial **Berthold Micro-moist LB-356** (Fig. 2). Permite mediciones utilizando sólo atenuación, sólo desfase o ambas a la vez.

Consta de:

- Antenas de transmisión y recepción, tipo bocina.

- Cables de señal de RF y de compensación.

- Unidad de generación de RF y evaluación de datos con salida RS232.

El LB-356 efectúa cada 0,8 segundos un barrido de frecuencias, dentro de su rango de funcionamiento, que es programable entre los límites nominales del equipo (2,7 a 3,4 GHz).

En los ensayos efectuados para ONLICOAL, se ha venido utilizando el modo de funcionamiento conjunto

Figura 6. Recta de calibración utilizando conjuntamente atenuación y desfase.

(atenuación y desfase) y el rango completo de frecuencias que permite la unidad. Paralelamente es preciso proporcionar al detector una señal representativa de la cantidad de carbón, que, en cintas de sección rectangular, es proporcional a la altura de capa y que en una unidad de alimentación de una instalación real sería generada por el sistema pesador del alimentador.

La relación entre el contenido en agua (W), y los valores de desplazamiento de fase (F) y de atenuación (D) puede describirse en general para un rango limitado, mediante la ecuación:

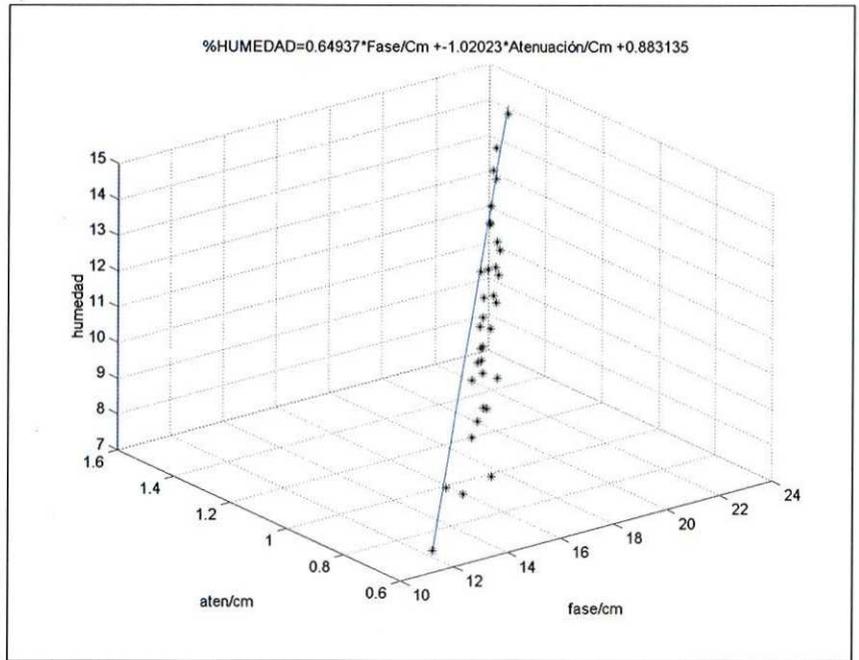
$$W = A \cdot \frac{\Phi}{\rho \cdot d} + B \cdot \frac{D}{\rho \cdot d} + C$$

donde  $\rho$  es la densidad del material a medir,  $d$  el espesor de la capa y A,B,C, los coeficientes de esta función de calibración, que es preciso determinar de manera experimental.

La salida RS232 de la unidad de medición se conecta con el ordenador de adquisición de datos de la sala de control mediante un puerto RS232. Con un programa realizado al efecto (Fig. 3) se recogen los datos generados por el LB-356 durante cada ensayo almacenándolos en archivos para cada carbón.

Estos archivos de datos son posteriormente procesados por medio de una utilidad elaborada con *Matlab*, mediante el que se comparan los datos leídos del LB-356 con el valor de humedad determinada mediante ensayo normalizado, en laboratorio. De aquí se obtienen, para cada ensayo de un determinado tipo de carbón, tres coordenadas de un punto: atenuación/altura de capa, desfase/altura de capa, y valor de la humedad.

Si se representan gráficamente los resultados para distintos grados de humedad, es posible ajustar rectas de calibración del LB-356, como las mostradas en las figuras 4, 5 y 6, de



las que se deducen los parámetros A,B,C necesarios para calibrar el equipo de microondas. Una vez calibrado, la lectura de humedad proporcionada por el LB-356 ya es directamente el valor en tiempo real que se pretende conocer.

Se han realizado distintas calibraciones para varios carbones de distinta procedencia en rangos de humedad entre el 6 y el 15%, obteniendo rectas de calibración (coeficientes A, B, C) que caracterizan cada uno de los carbones, y mediante los que se han comprobado ajustes en la medida de la humedad con un error menor del 0,5%.

También se ha ajustado una única calibración, con el total de los datos disponibles, tratando así de obtener un resultado válido con independencia del tipo de carbón. De esta forma, se ha logrado hasta el momento una precisión de medida con errores del 1% en rangos bajos de humedad, y hasta el 1,5% en los rangos más altos.

Cabe esperar que la precisión de esta calibración global mejore a medida que se aportan más puntos para su obtención (y en ello se trabaja actualmente) aunque es de esperar que no se puedan alcanzar resultados tan buenos como cuando la calibración

se hace en exclusiva con un solo tipo de carbón.

## 6. BIBLIOGRAFIA.

- [1] Berliner M.A.; Polishchuck S.A. "Characteristic of microwave phase shift for measurement of moisture content". Prib. Sistemy Upravl. 1971.
- [2] Billbrough J. "Moisture measurement in solid materials (microwave methods)". Institute of Physics and the Physical Society. 1969.
- [3] Cierpisz S.; Zielinski W. "Experiences with on-line microwave moisture monitoring system for coal". Automation in Mining. Mineral and Metal Processing. 1989.
- [4] Cutmore N.; Abernethy D.; Evans T. "Microwave technique for the on-line determination of moisture in coal". International Microwave Power Institute. 1989.
- [5] Cutmore N.; Evans T.; McEvan A. "On conveyor determination of moisture in coal". International Microwave Power Institute. 1991.