

## MÉTODO DE CONCENTRACIÓN DE CARBÓN POR MEDIOS DENSOS EN TAMBOR WENCO.

### INTRODUCCIÓN.

Como es sabido, el carbón es una roca sedimentaria combustible formada por la transformación de restos de vegetales superiores a lo largo de millones de años. No todos los carbones tienen las mismas características. Concretamente, atendiendo a su poder calorífico se han clasificado tradicionalmente en orden ascendente en: turbas, lignito pardo, lignito negro, hullas y antracitas.

Precisamente debido a su poder calorífico, el carbón es un recurso energético, no renovable, que ha jugado un papel fundamental en el desarrollo de la humanidad. En efecto, el despegue definitivo de la revolución industrial en la segunda mitad del siglo XVIII se produjo cuando las máquinas de vapor se pudieron alimentar con este combustible. En el siglo XIX el carbón posibilitó el desarrollo del ferrocarril y del transporte marítimo a gran escala, así como el de la moderna siderurgia mediante su empleo en forma de coque.

En el siglo XX, y especialmente en su segunda mitad, el carbón fue sustituido en muchas de sus aplicaciones tradicionales por otros combustibles, fundamentalmente los derivados de petróleo. Sin embargo su uso en la generación de energía eléctrica en centrales termoeléctricas, iniciado en el entorno de la I Guerra Mundial, se ha mantenido, siendo esta su principal aplicación en la actualidad. A pesar de la aparición de otros sistemas de generación eléctrica (nuclear, ciclos combinados de gas natural, energías renovables), el papel del carbón en este campo sigue siendo fundamental, sin que hasta la fecha existan alternativas que puedan sustituirlo de forma eficiente y racional. Baste citar que más del 50% de la energía eléctrica consumida en los Estados Unidos procede de centrales de carbón.

En España no existen recursos energéticos autóctonos salvo los renovables, cuya gestión a gran escala resulta imposible por su variabilidad, y el carbón. Por este motivo, las centrales termoeléctricas de carbón aportan el 28% de la generación de energía eléctrica, de los cuales entorno al 66% procede de carbón de importación y el resto de carbón nacional.

En nuestro país como en el resto de Europa los yacimientos carboníferos han sido explotados desde hace más de un siglo, por lo que los mejores recursos, es decir los de mejor calidad y más fácil laboreo, han sido ya extraídos. Esta circunstancia, unida a que muchos yacimientos se sitúan en estructuras geológicas especialmente complejas, hace que los

costes del carbón español y europeo resulten, salvo contadas excepciones, muy superiores a los del carbón de importación. Por todo esto, y dentro del marco de una economía globalizada donde las subvenciones resultan cada vez más anacrónicas, la minería del carbón europea está sometida a un plan de reestructuración que contempla una progresiva reducción de las producciones. En el caso de España este proceso ha supuesto disminuir un 37% la producción en el período 1990-2005.

### **DEFINICIÓN Y NECESIDAD DE LOS PROCESOS DE LAVADO.**

Lavar es un concepto que no es extraño a nadie, aunque con carácter técnico se puedan adoptar definiciones más o menos complejas. Para alguien ajeno a la minería, lavar es sinónimo de limpiar. Si reflexionamos un poco sobre esta simple definición, llegaremos a la conclusión de que en los procesos mineros de concentración o lavado, no se realiza otra cosa que una limpieza del mineral, separándolo de los materiales estériles o no útiles con los que se encuentra unido. Así pues, podemos decir que lavar carbón significa disminuir la cantidad de estéril, de material no combustible, que va con él asociado.

En la naturaleza el carbón se presenta en capas de inclinación variable unido a materiales estériles. Estos forman parte del carbón de dos maneras distintas. En un caso proceden de los elementos inorgánicos que formaban parte de la estructura íntima de los vegetales superiores que dieron origen al carbón. En un segundo caso los estériles proceden de los aportes de sedimentos inorgánicos, arcillosos y arenosos, que se produjeron simultáneamente durante la formación del carbón.

Los estériles del primer tipo, que podríamos llamar intrínsecos, no pueden ser eliminados mediante procesos de lavado pero afortunadamente tienen muy poca importancia frente a los de origen sedimentario. La eliminación o separación de estos últimos es el objetivo de los procesos de lavado.

Además de estos estériles de origen natural, existen otros estériles de origen antrópico que también acompañan al carbón y que también pueden ser eliminados por los métodos que explicaremos más adelante. Proceden de la imperfección de los procesos de extracción minera que siempre implican una cierta mezcla de mineral con estéril o, como es cada vez más frecuente, de la necesidad de recuperar a cielo abierto el carbón remanente de antiguas explotaciones subterráneas.

Si se tiene en cuenta lo comentado en la Introducción sobre el empobrecimiento de los yacimientos europeos, se entenderá la importancia actual de los procesos de lavado, importancia que,

curiosamente, olvida o desconoce una parte del propio sector carbonero.

### **TIPOS DE PROCESOS DE LAVADO.**

La gran diferencia de densidad existente entre el carbón y el estéril que lo acompaña, hacen que los métodos de lavado en los que la gravedad juega un papel fundamental, sean los más utilizados.

Todos estos métodos utilizan los efectos combinados que la masa, volumen y forma de las partículas de carbón tienen, sobre su comportamiento físico en el interior un fluido. Este fluido, a su vez, puede encontrarse en situación estática o dinámica.

Partiendo de este sencillo esquema conceptual, tres son los sistemas que industrialmente se utilizan para el lavado del carbón:

**Método del manto pelicular fluente:** consiste básicamente en generar una lámina de agua de poco espesor que desliza sobre un canal inclinado, de forma que las partículas van sedimentando en función de su velocidad de caída y de su resistencia al movimiento de la lámina; dentro de este método, el aparato más utilizado actualmente son las espirales.

**Método de la aceleración diferencial:** en este sistema las partículas son sometidas a oscilaciones periódicas del fluido, de forma que este movimiento provoca una sedimentación diferencial entre partículas de distinta densidad; los aparatos que utilizan este principio se denominan cajas de pulsación que bien pueden ser hidráulicas, si el fluido empleado es agua, o bien neumáticas, si el fluido de separación lo constituye el aire.

**Método de medios densos:** aquí las partículas son introducidas en un líquido formado por una mezcla de agua y partículas finas densas que forman una pseudo-solución, denominada medio denso, de forma que los materiales ligeros flotan en el medio, mientras que los pesados se hunden; los aparatos más importantes utilizados en este sistema son el tambor, medio estático, y el ciclón, medio dinámico.

En este último método y, más concretamente en el tambor de medio denso, será donde centraremos nuestra atención.

### **PRINCIPIO DE LA CONCENTRACIÓN POR MEDIOS DENSOS.**

Este método está basado, como se acaba de comentar, en que si se sumerge en un fluido de alta densidad una mezcla de

partículas con densidades inferior, igual y superior a la del medio, las de menor densidad flotarán, las de mayor densidad se hundirán y las que tengan la misma densidad que el medio, se mantendrán en suspensión.

En un principio los líquidos o fluidos orgánicos permiten conseguir un espectro de densidades muy amplio, por lo que resultan ideales para hacer el papel de medio denso. La primera complicación del método estriba precisamente en encontrar fluidos orgánicos pesados que bien por si mismos o mezclados con otros sean capaces de producir fluidos estables y, todo ello, a un precio razonable. Pues bien, esto no resulta posible a escala industrial debido, precisamente, a su elevadísimo coste. Por este motivo es necesario recurrir a pseudo-soluciones. Una pseudo-solución está compuesta por una mezcla de sólidos inorgánicos molidos a tamaño de micras con un líquido, normalmente agua, de tal manera que resulte más o menos estable.

Para formar estas pseudo-soluciones se han utilizado a lo largo de la historia diversos tipos de sólidos. A principios del siglo XX se emplearon lechos de arena (método Chance). Posteriormente se utilizó el cloruro de calcio (método de Lessing). Con anterioridad a la II Guerra Mundial se idearon los medios de galena (procedimiento Huttintong-Heberleing). Con este último sistema se llegaron a alcanzar densidades del orden de 2,7, muy superiores a las conseguidas hasta entonces con el método Lessing de tan solo 1,35 y todos los anteriores.

Con posterioridad a la II Guerra Mundial, comenzaron a emplearse los actuales medios compuestos de magnetita o ferrosilicio, que aportaron importantes ventajas tanto económicas, bajo coste relativo y facilidad de recuperación, como de precisión en la separación.

### **ETAPAS DEL PROCEDIMIENTO DE MEDIOS DENSOS.**

Este procedimiento, para su correcto funcionamiento, necesita de tres etapas fundamentales:

- Preparación del mineral.
- Preparación del medio.
- Separación de los productos (concentrado y estéril).

Para que el proceso resulte económicamente viable se requiere de un cuarto proceso que consiste precisamente en la recuperación del material empleado para formar el medio denso.

## **PREPARACIÓN DEL MATERIAL.**

Como es sencillo imaginar, los materiales que llegan a la instalación de lavado, procedentes de la explotación, no suelen ser aptos directamente para su tratamiento debido, fundamentalmente, a sus enormes granulometrías que impiden que sean manipulables en las líneas de transporte y proceso del lavadero. Por lo tanto, lo primero que se debe conseguir en una instalación de este tipo es reducir el tamaño del material de alimentación.

Por este motivo, los lavaderos poseen en su inicio etapas de trituración, con lo que se consiguen dos objetivos: por un lado, como ya se ha comentado, adecuar el tamaño del material para que la instalación lo pueda manejar, y por otro conseguir la liberación del mineral, es decir, su segregación mecánica del estéril.

Una vez pasada la fase de trituración y con el fin de favorecer los posteriores procesos de separación densimétrica, el material triturado debe clasificarse por tamaños o fracciones granulométricas. Es importante resaltar que cuanto más homogéneos sean los tamaños que lleguen al proceso densimétrico mejor y más precisamente se realizará la separación estéril-mineral.

También es importante que antes de que el material entre en el medio denso, se hayan desprendido de él las partículas finas que normalmente lo acompañan. Estas partículas finas aumentan la viscosidad y densidad del medio denso provocando el incremento de la imperfección del proceso de separación. No obstante, es necesario mantener un determinado nivel de esos finos, con el fin de dotar al medio de la estabilidad necesaria que permita mantener su densidad constante.

## **PREPARACIÓN DEL MEDIO.**

Como ya se ha comentado anteriormente, los primeros medios que se utilizaron estaban formados por mezclas de baritina, arena o galena con agua. Los problemas derivados de su falta de estabilidad, dificultad para su recuperación, baja densidad, etc. han llevado a que hoy en día se utilicen únicamente medios formados por magnetita o ferrosilicio. Este último sólo se emplea cuando se necesitan densidades especialmente elevadas.

Una de los motivos que han llevado al empleo sistemático de la magnetita o el ferrosilicio es que su recuperación mediante sistemas magnéticos resulta muy sencilla aprovechando precisamente las propiedades magnéticas de estos materiales.

El medio denso se prepara normalmente en un depósito con agua en el que la magnetita se deposita mediante medios mecánicos, una pala o una retrocargadora. Desde ese depósito, la mezcla o pulpa es bombeada hasta el equipo que va a emplear el medio denso.

Es evidente que una pseudo-solución no es nunca tan estable como una solución verdadera o un líquido orgánico, por lo que a la hora de preparar y utilizar la mezcla sólido-líquido hay que tener en cuenta varias consideraciones.

En primer lugar las partículas del sólido que forma el medio denso deben tener la suficiente resistencia para que no se rompan durante el proceso, ya que de lo contrario se hace más difícil su recuperación y se produce un incremento incontrolado de la viscosidad del medio.

Por otro lado, la velocidad de decantación de las partículas, debe ser baja, inferior a 1 mm/min, ya que de ser mayor se producen disminuciones importantes de la densidad y el medio pierde estabilidad.

Finalmente, la viscosidad debe ser la adecuada: una viscosidad demasiado baja da como resultado un aumento en la velocidad de decantación de las partículas del medio, disminuyendo su densidad; por el contrario, una viscosidad demasiado elevada trae consigo un aumento no controlado de la densidad.

### **SEPARACIÓN DE PRODUCTOS.**

Una vez preparados tanto el producto como el medio se está en condiciones de poder realizar con éxito el enriquecimiento del mineral, eliminando la mayor cantidad de estéril posible. El volumen de estéril eliminado es función, recordemos, del grado de liberación alcanzado en la fase de preparación anterior.

La separación se produce cuando introducida la mezcla carbón-estéril en el baño de medio denso, los productos ligeros, el carbón, flotan, mientras que los productos pesados, el estéril, se hunden.

A continuación vamos a examinar cómo se realiza a escala industrial este proceso.

### **SEPARACIÓN EN UN TAMBOR WENCO.**

Este aparato de separación está constituido por un tambor rotativo, que se encuentra lleno de medio denso, más o menos hasta un tercio de su capacidad. Como puede observarse en la Figura nº 1 (Corte transversal del tambor), el material llega al tambor por uno de sus extremos descargándose a través de un

canal. El material se introduce en el baño de forma que, transcurrido un cierto tiempo, se produce la separación: el carbón sobrenadará en el medio y el estéril se habrá depositado en el fondo. El giro del tambor, a velocidad comprendida entre 0,5 y 2 r.p.m., permite por un lado el batido constante del medio y por otro favorece la extracción del material hundido.

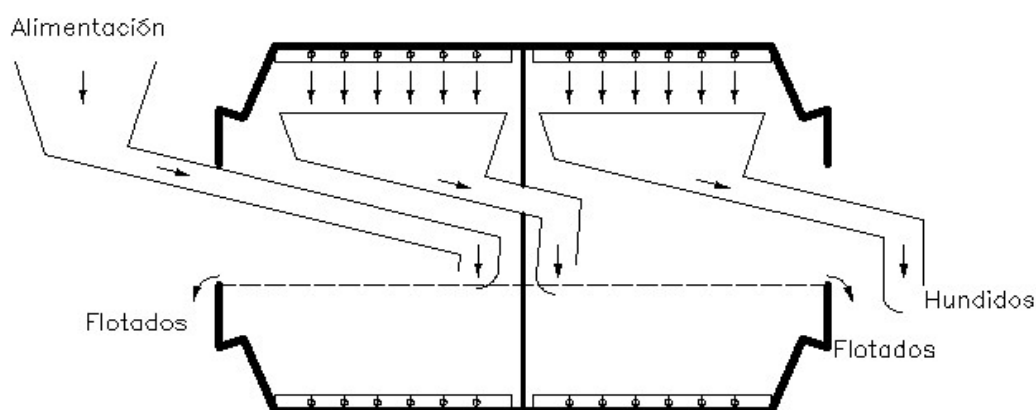


Figura n° 1.- Corte transversal del tambor Wenco

Para conseguir la evacuación del interior del tambor del carbón es necesario crear un rebose con una altura suficiente para permitir la salida de las partículas de carbón de mayor tamaño. Este rebose se consigue introduciendo medio denso por el mismo canal que se utiliza para alimentar de material al tambor.

La evacuación del estéril hundido se realiza mediante unas palas que el tambor posee en todo su perímetro interior. Estas palas, al igual que los cangilones de una noria, recogen el estéril del fondo y lo descargan en un canal de salida situado en la zona superior del tambor.

Tanto el carbón flotado como el estéril hundido abandonan el tambor acompañados de una parte del medio denso, medio que es necesario recuperar por motivos económicos y para evitar la contaminación del carbón por la magnetita. El medio se recupera en unos vibrotamices dispuestos inmediatamente a las salidas del tambor, en la primera zona de este vibrotamiz, se recupera por gravedad. El medio así recuperado recibe el nombre de medio denso concentrado, ya que posee la misma densidad del medio de separación y por lo tanto puede utilizarse de nuevo en el tambor y generar con él nuevos reboses.

A continuación los vibrotamices van dotados de riego de agua, en donde se acaba de recuperar el medio. El medio así recuperado se denomina medio denso diluido y si bien tiene la misma composición que el concentrado (agua, magnetita y finos de carbón), no puede recircularse directamente al circuito ya que no dispone de la densidad adecuada.

El medio denso diluido se lleva al circuito de recuperación (ver Figura n° 2: Circuito de recuperación de medio denso). En él se separan y recuperan sus tres componentes: la magnetita que se emplea para reponer las pérdidas que se generan en el concentrado, los finos que son carbón y el agua que se utiliza de nuevo en los circuitos de riego. La recuperación se realiza en primer lugar con separadores magnéticos que se encargan de recoger la magnetita para introducirla de nuevo al circuito. Los finos y el agua se recuperan en tanques espesadores.

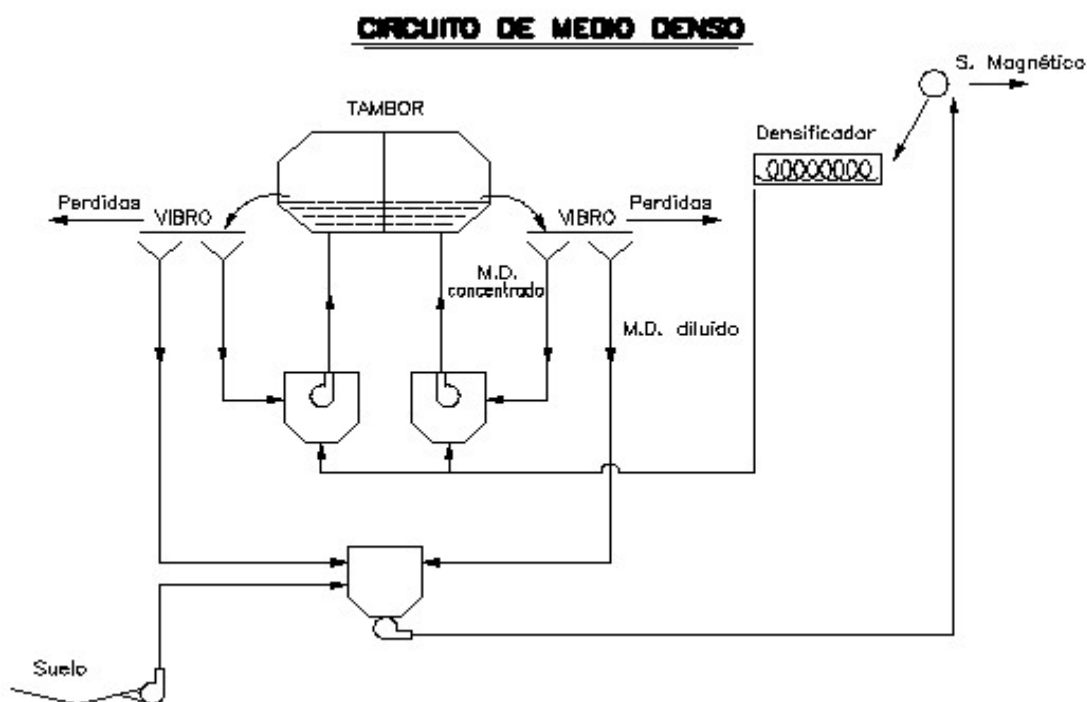


Figura n° 2.- Circuito de recuperación de medio denso

En estos tambores, es posible el tratamiento de carbones con granulometrías comprendidas entre los 3 y los 300mm, pudiendo diseñarse para la recuperación de 2, 3 o 4 productos en función de que el tambor esté dotado de uno o dos compartimentos, (figura n° 3. Distintos diseños de tambores Wenco)

Si el tambor se diseña con un solo compartimiento, podrá realizar la separación de 2 productos, estéril y carbón. Por el contrario si está dotado de dos zonas independientes, se podrán recuperar 3 productos, si el hundido del primer compartimiento alimenta al segundo, obteniéndose un carbón, un mixto y un estéril; o 4 si a cada compartimiento se alimenta con productos diferentes, obteniéndose un carbón y un estéril por cada compartimiento.

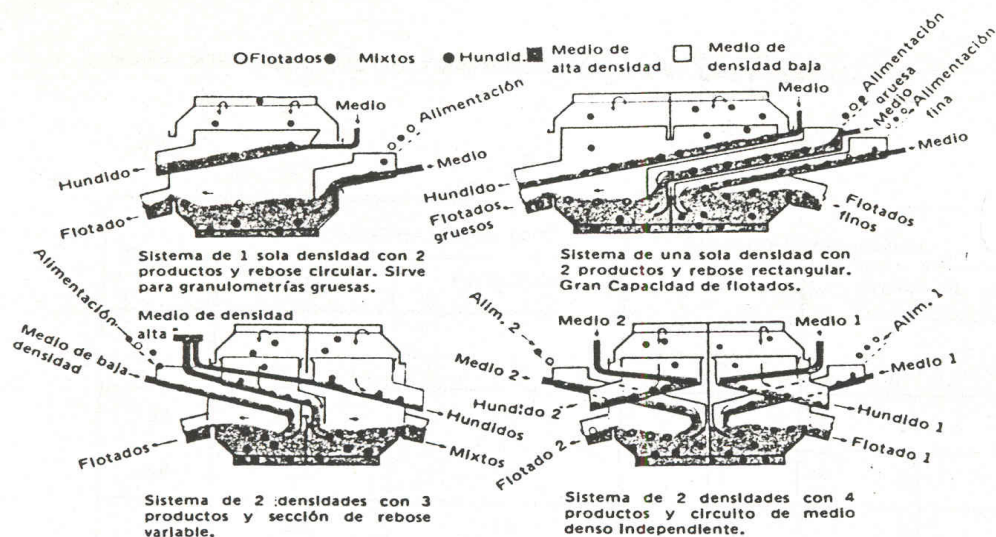


Figura n° 3. Distintos diseños de tambores Wenco.

### CONCLUSIONES

Aunque en los últimos años, el carbón ha ido sustituyéndose con otros tipos de combustibles, sigue ocupando un nivel importante, sobre todo a nivel nacional, en la generación de energía eléctrica. Por otro lado, el empobrecimiento de los yacimientos como consecuencia de explotaciones de más de un siglo, hacen necesaria la utilización de métodos de enriquecimiento que permitan la obtención de un combustible de calidad aceptable. Dentro de estos sistemas, los métodos más utilizados tradicionalmente han sido procesos donde la densidad ha jugado un papel fundamental, siendo la separación por medios densos donde se produce una mejor recuperación a unos niveles de coste aceptables.

Alcaide Azcona, Fco. Javier  
 Alonso Prieto, Angel Luis  
 Instalaciones de Tratamiento de Carbón  
 ENCASUR. Puertollano