

628,511.005-60
611-51

consideraciones prácticas sobre precipitadores electrostáticos

D. S. WOOD

El problema de la contaminación de la atmósfera es cada día más importante, y el modo de evitarlo es un tema que se estudia con gran interés en todos los países. La opinión general es que debe evitarse, en todo lo posible, tanto por el punto de vista higiénico como por el de los inconvenientes de tipo económico que implica, una atmósfera muy contaminada.

A tal fin se invierte mucho dinero y se emplea gran cantidad de tiempo en investigaciones encaminadas a evitar la contaminación del aire mediante la recuperación del polvo. Existen muchos métodos de gran eficacia para la recuperación del polvo, tales como los separadores mecánicos, ciclones, torres para el lavado en seco, etc. Antes de decidir que tipo de separación es la más adecuada, desde todos los puntos de vista, deberán estudiarse las características y propiedades del polvo. Sin embargo, cada día se confirma más que la precipitación electrostática es el procedimiento más eficaz, para separar las cenizas y arenillas arrastradas por los humos de las centrales eléctricas que queman combustibles pulverizados o, para recuperarlas de los gases procedentes de los hornos de las fábricas de cemento. El precipitador tiene la ventaja de poder tratar grandes volúmenes de gases a altas temperaturas, no importando que exista un considerable porcentaje de polvo cuyo tamaño sea de micras o fracciones de micra. Podemos darnos una idea de la eficacia de éstos por el aspecto que presentan las Figs. 1 y 2. En la primera se ve la densa humareda de una central eléc-

trica en la que no funcionan los precipitadores; la segunda está tomada al cabo de 105 segundos de haber puesto en funcionamiento el precipitador.

Proceso de precipitación

Los gases que contienen la materia en suspensión pasan entre dos electrodos sometidos a una elevada diferencia de po-

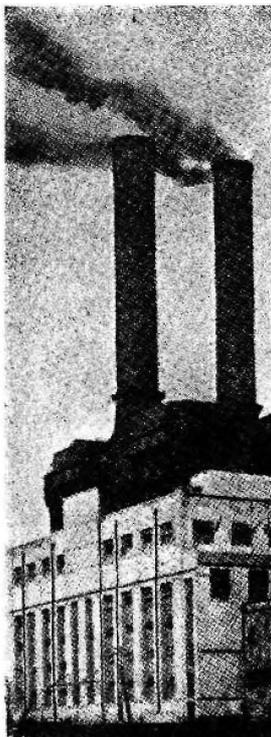
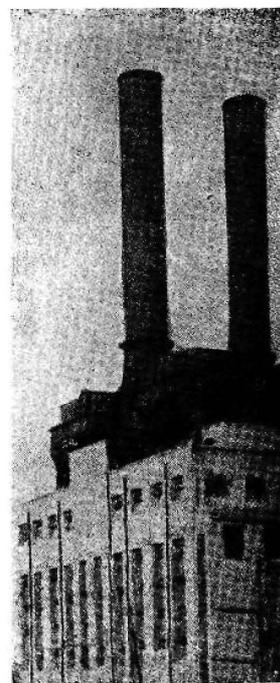


Figura 1



Figura_2

tencial. Para mayor sencillez consideraremos que estos electrodos consisten en un tubo hexagonal y un alambre centralmente suspendido en su interior. El alambre—electrodo de descarga— tiene una sección de 5/32 pulgadas (4 mm) y está a un potencial negativo de 45 kV, siendo la separación entre este electrodo y el electrodo colector del orden de 5 pulgadas (127 mm). Este tubo colector se conecta a tierra.

A esta tensión crítica se produce una descarga en corona por toda la superficie del electrodo negativo, dando lugar a una emisión de electrones que, debido al campo eléctrico, intentan alcanzar el electrodo opuesto conectado a tierra. Estos electrones entran en colisión con la suspensión de partículas del gas uniéndose a ellas. Las partículas, por tanto, quedan influenciadas por el campo eléctrico. Dicho campo obliga a las partículas de polvo a precipitarse sobre el electrodo conectado a tierra, liberando la carga y adhiriéndose ligeramente, hasta que son desprendidas físicamente por vibración o por arrastre mecánico.

Por regla general, las partículas de polvo se cargan, en una fracción de segundo, al entrar dentro del campo comprendido entre los dos electrodos, dependiendo su velocidad de emigración del tamaño de las partículas y de otras circunstancias.

El electrodo de descarga está fabricado con un material capaz de resistir las tensiones eléctricas y, frecuentemente, suele tener una sección especial. Es muy corriente que dicho electrodo sea un alambre de sección cuadrada, retorcido longitudinalmente. La sección cuadrada acentúa el efecto corona aumentando el número de puntos de descarga eléctrica, y el retorcido tiende a distribuir por igual la corona dentro del electrodo receptor o tubo. Aunque se reconoce que el mejor precipitador es el de «hilo y tubo», no obstante se señala que el diseño del electrodo puede influir considerablemente sobre el rendimiento.

Desde el principio de la descripción del proceso de precipitación se ha podido apreciar que el término «electrostático» no es estrictamente el más correcto, puesto que tiene que existir un flujo de circulación para que se produzca la precipitación. Sin embargo, este flujo es muy pequeño y, para el tipo de fábricas que estamos considerando, es de unos 0,35 mA por electrodo,

Anderson Horne y otros investigadores han estudiado este problema, llegando a la conclusión de que la tensión a aplicar a un precipitador electrostático debe ser la más alta posible y compatible con su estabilidad eléctrica. Es indiscutible que si se sigue aumentando la tensión se alcanzará un punto donde se rompe el equilibrio electrostático entre los electrodos, produciéndose la descarga. Hay que tener en cuenta, además, que durante su funcionamiento el volumen de polvos que pasan por los tubos en un tiempo unitario no siempre es constante. Efectivamente, la variabilidad de esta carga de polvo es en algunos casos muy considerable, produciéndose, a veces, descargas. Si tanto la carga como la temperatura de los gases están variando constantemente, la tensión máxima estable no puede tener un valor uniforme y, por tanto, el gradiente de tensión debe ser tal que con él se obtenga la máxima corona de descarga a medida que varíen las condiciones del gas y la carga de polvo.

Sin embargo, es preferible que el campo eléctrico sea uniforme, lo que se puede conseguir mediante el empleo de un precipitador electrostático de dos etapas. Esta no es siempre solución económica tratándose de grandes instalaciones.

Lowe, Lucas y Trooste han estudiado ampliamente la distribución del campo electrostático. Han demostrado que, tanto en el sistema de alambre y tubo, como en el de alambre y placa, la distribución de campo en el espacio entre los electrodos no es uniforme, variando desde un valor muy alto en el alambre a uno muy bajo en la superficie del tubo. Efectivamente, esto es cierto: es bien sabido que la corona se forma como resultado de la altísima intensidad de campo en la zona circundante al alambre.

Retirada del polvo por arrastre mecánico

En la mayoría de las fábricas, el desprendimiento del polvo adherido por precipitación se realiza por percusión de los tubos a intervalos predeterminados, bien a golpes regulares de martillo (que funcionan por muelle antagonista o por gravedad) o

por vibrado eléctrico. Cuando se golpea se desprende el polvo de éste, y, debido a que las partículas están ya aglomeradas, los trozos formados caen por gravedad, a contracorriente del gas, en las tolvas. Naturalmente, la velocidad del gas deberá ser tal que no arrastre el polvo al circular ya que, de lo contrario, atravesarán todo el separador sin ser retenidos y saldrán por la chimenea.

Al poner a punto un sistema de desprendimiento mecánico habrá que estudiar las características de las partículas de polvo. Es muy importante tener en cuenta el tamaño de las partículas, su conductividad, densidad y facilidad para aglomerarse. Por consiguiente, cada caso particular hay que estudiarlo viendo sus posibilidades. No puede observarse una regla inflexible y breve para resolver este problema de modo que cubra todos los requisitos satisfactoriamente.

El electrodo de descarga también debe sacudirse a intervalos reguladores, ya que una pequeña cantidad del polvo puede tomar cargas positivas y depositarse sobre dicho electrodo negativo. En estas condiciones se ha podido observar que la corona de descarga disminuye a medida que aumenta el diámetro del electrodo de alta tensión.

Puesto que el electrodo de alambre está a alta tensión, es imprescindible interponer un aislante en el dispositivo de golpeo.

Resistividad del polvo

La resistividad del polvo y el poder de captación ejercen una gran influencia sobre la construcción y la eficacia de un precipitador electrostático, surgiendo ciertas dificultades cuando el polvo tiene una extremadamente alta o baja resistividad. En primer lugar, consideraremos el comportamiento de una partícula de polvo sometida a la acción de un tubo colector cuyas superficies están limpias.

Al estudiar la teoría del funcionamiento de los separadores electrostáticos se dijo que la partícula de polvo se ioniza y seguidamente se descarga al depositarse sobre el tubo colector, tomando la polaridad de éste. Puesto que ya tiene carga del mis-

mo signo que el tubo, la partícula experimentará una fuerza repulsiva: si esta fuerza es inferior a la de adherencia molecular, la partícula permanece en el tubo hasta que mecánicamente se arranca y lleva a las tolvas previstas para tal fin.

Ya visto lo que le ocurre a una partícula de polvo en un precipitador electrostático, consideremos su comportamiento cuando ya se ha depositado una capa de polvo: la partícula llega al electrodo conectado a tierra y se encuentra con una capa de polvo bombardeada por un haz de iones de carga similar. En estas condiciones, la partícula puede encontrarse atraída o repelida; esto depende de:

- (I) la resistividad del polvo
- (II) el espesor de la capa
- (III) su propiedad cohesiva.

Polvos con baja resistividad

Si se trata de un material con baja resistividad, al ionizarse se precipita hacia el tubo; aquí pierde rápidamente su carga negativa y adquiere otra del mismo signo que la del tubo, por lo que experimenta una repulsión. Antes de que sea arrancada por medios mecánicos dicha partícula puede, por sí sola, caer y volver a la corriente gaseosa. En estas condiciones es posible una nueva ionización con la correspondiente precipitación sobre el tubo. Esto puede repetirse un cierto número de veces, saltando la partícula de un lado a otro del tubo hasta que quede fuera del campo eléctrico, que es cuando la corriente gaseosa arrastrando la partícula la conduce a la atmósfera.

Polvos con resistividad media

Consideremos el caso de tener una resistividad media. La partícula de polvo se aproximará a la capa de polvo depositada, la cual está ligeramente polarizada con cargas del mismo signo (esto sucede así porque, al tener poca conductividad, las cargas pasan al tubo lentamente). Ahora la partícula no experimentará ninguna repulsión hasta que no se encuentre muy próxima a la capa de polvo. Sin embargo, como la

partícula está sometida a un campo electrostático (opuesto a la fuerza repulsiva de la capa de polvo y de mayor intensidad) se precipitará y quedará adherida.

Polvos con resistividad alta

Finalmente veamos que ocurre cuando se trata de polvos con resistividad muy alta. En este caso hay que considerar que la capa de polvo depositada sobre el tubo no ha perdido sustancialmente la carga negativa. La partícula de polvo que se aproxima a la capa depositada tiene cargas del mismo signo y, por tanto, es repelida. Por estar la partícula entre dos influencias del mismo signo, no se deposita y, como consecuencia, pasa a la atmósfera.

Esto se acentúa a medida que se van formando nuevas capas de polvo. White y otros investigadores han demostrado que se forma un considerable potencial en la superficie y que el gradiente de potencial en el espesor de la capa es muy amplio. Como consecuencia de ello, se producen descargas eléctricas locales en el seno del gas que circunda a las partículas de polvo. En los puntos de descarga se producen chispas o coronas. Estas coronas dan lugar a la formación de iones positivos.

La presencia de iones positivos es muy perjudicial, puesto que son atraídos por las partículas cargadas negativamente compensándose parcial o totalmente su carga. La precipitación se reduce enormemente y el rendimiento es mínimo.

Observaciones sobre la resistividad

En este artículo se está empleando libremente la palabra «resistividad». Es preciso hacer constar que la resistividad interna de la partícula no influye demasiado sobre sus características para la precipitación. Los investigadores han demostrado que la resistividad de la partícula, y su correspondiente conductividad, depende de los elementos ocluidos y, por consiguiente, su resistencia estará relacionada con las propiedades del gas.

Por tanto, la resistividad de la capa de polvo dependerá:

- (1) de la resistividad de la partícula.
- (2) de la resistividad de los elementos ocluidos.
- (3) de la resistividad del gas.
- (4) de la temperatura.
- (5) del tamaño de la partícula y compacidad de la misma.

Influencia del gas

De lo dicho anteriormente sobre la resistividad se deduce que determinadas características del gas pueden entorpecer la precipitación, incluso aun cuando las partículas de polvo tengan una buena naturaleza conductiva. Por ejemplo, un elevado porcentaje de azufre puede provocar un funcionamiento indiferente o la precipitación. Pero averiguar en que circunstancias sucede esto, y su investigación, no es la finalidad de este artículo.

Descripción de la instalación

Hasta aquí se ha estudiado la separación electrostática de un modo teórico, viendo lo que sucede en un solo elemento constituido por un hilo de descarga y un tubo colector. Para la descripción de una instalación, como la que puede verse en la fig. 3,

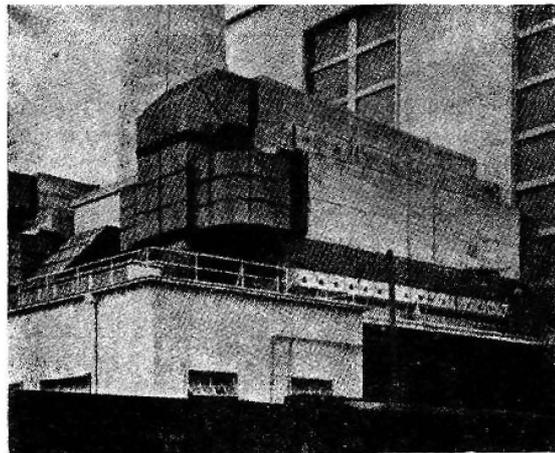


Figura 3

se seguirá utilizando como ejemplo el precipitador de tipo tubular. Las instalaciones industriales deben proyectarse de acuerdo con los principios aceptados en ingeniería, mecánica y electricidad. Debe tenerse en cuenta la duración de las instalaciones y se procurará sean los mínimos los gastos de entretenimiento.

Un punto muy interesante al estudiar un precipitador de tubo es el de la situación de la entrada y salida de gases de la instalación, la cual puede variar más que en otro tipo de precipitadores. De esta forma, el proyectista está en condiciones de situar la instalación en lo que pudiera considerarse un espacio inadecuado.

Los tubos de tipo hexagonal (mencionados anteriormente) se reúnen en bancadas o series formando baterías de tamaño adecuado. El número de tubos, dispuestos de tal forma, puede variar entre 28 y 41 unidades; depende de los factores que intervienen en el proyecto.

En estas instalaciones los gases entran por la parte frontal del precipitador y salen por la parte superior de la batería. Los gases cargados de polvo recorren toda la batería penetrando por el conducto de entrada, que es una parte integrante de ésta. Debajo de la batería está el conducto de evacuación del polvo y las tolvas. El conducto de evacuación está dotado de puertas regulables, situadas debajo de las baterías de tubos. Los gases cargados de polvo entran en la cámara de tratamiento del precipitador a través de estas puertas y pasan, después, a los tubos separadores. Las puertas mencionadas se regularán de tal forma que la circulación de gases sea lo más uniforme posible.

Los gases ascienden por los tubos y salen limpios por la parte superior, donde se recogen para conducirlos a la chimenea de evacuación a través de unos conductos provistos de ventiladores de tiro forzado.

Los alambres que constituyen los electrodos negativos van firmemente enlazados a un armazón situado en la parte superior de la instalación (fig. 4). En la parte inferior se encuentran los contrapesos que los mantienen verticales. La parrilla consiste en una armadura de angulares y perfiles en U, debidamente aislada del resto por medio de aisladores de sílice fundida. Los aisladores

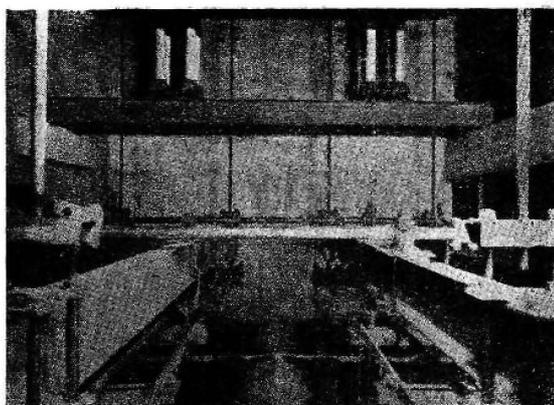


Figura 4

están dispuestos de tal forma que siempre trabajan a compresión. Los contrapesos son de función y quedan entrados en los tubos por medio de otra parrilla situada en la parte inferior. Los pesos no pueden caer en las tolvas del polvo por haberse previsto un dispositivo para tal fin.

Batería de separadores

La elección de materiales para construir la batería de separadores viene, en gran parte, determinada por un criterio económico. Por ejemplo, el separador de una fábrica de cemento se construirá, como es lógico, de hormigón armado. En otros casos será preferible hacerlo de acero y revestirlo adecuadamente.

Al construir una batería debe tenerse mucho cuidado de evitar la condensación de gases, si ésta resulta perjudicial. Un ejemplo típico es el de las centrales de energía que queman carbón pulverizado. Los gases desprendidos pueden contener ciertas cantidades de azufre y resultar éste perjudicial. Si la temperatura desciende por debajo del punto de rocío, se formarán ácidos corrosivos que atacarán a las partes internas del precipitador. Por tanto, deberá mantenerse la temperatura por encima del punto de rocío. Algunas instalaciones tienen la batería con una protección de bloques de hormigón y los que trabajan a altas temperaturas se revisten con ladrillos refractarios.

Las tolvas que, como ya se dijo antes, están situadas debajo de la zona de tratamiento, serán también de hormigón armado o de acero dulce, adecuadamente revestido. Deben estar provistos de dispositivos de nivel continuo, con objeto de evitar que el polvo acumulado llegue a tocar o se aproxime a las parrillas y pesos, ya que, de lo contrario, se desequilibrará el sistema eléctrico produciéndose descargas.

También se construyen precipitadores electrostáticos para tratar líquidos, en estado gaseoso, o en gotitas finamente divididas; en este caso no es necesario el dispositivo de arrastre, puesto que las gotitas precipitadas escurren dentro de los tubos por gravedad recogiéndose en un sumidero. Otras instalaciones consisten en una delgada película de agua que escurre continuamente por la parte interna de los tubos. El material precipitado forma un lodo con el agua que es preciso retirar por la parte inferior; en estos casos hay que evitar la caída continua del agua para que no se formen cortocircuitos, lo que se consigue haciendo que el agua caiga gota a gota.

En la industria de los metales preciosos se están utilizando también los precipitadores electrostáticos. El oro, por ejemplo, se recupera de los gases que se desprenden cuando se está fundiendo. La inversión de dinero se va amortizando con el valor del material recuperado.

Equipo eléctrico

Un equipo eléctrico típico y un sistema de control consta de los siguientes elementos:

- (1) Un panel de control de baja tensión.
- (2) Una resistencia limitadora de corriente para baja tensión.
- (3) Un regulador de tensión para carga infinitamente variable.
- (4) Un transformador elevador de relación 100/1.
- (5) Un rectificador mecánico.
- (6) Una unidad para regular la tensión automáticamente.

Panel de control de baja tensión

En este panel están todos los interruptores necesarios, instrumentos, fusibles, contactores, etc., para regular el suministro de alta tensión de la cámara de tratamiento. También se controla desde el panel el motor del rectificador dinámico. Un selector de polaridad es el encargado de enviar la polaridad correcta al precipitador.

Resistencia de baja tensión

Con ésta se absorben eficazmente las extracorrientes debidas a las descargas que se producen en las cámaras de tratamiento. La resistencia se ajusta variando la posición de unos puentes.

Regulador de tensión

Con esta pieza del equipo se ajusta la corriente de alta tensión, desde la banda de baja tensión del transformador. Con él se puede variar la tensión en el precipitador entre unos márgenes del 50%, es decir, desde aproximadamente 27 kV a 45 kV.

Transformador

El regulador de tensión proporciona una corriente monofásica en baja, que sirve para alimentar el transformador cuya relación de transformación es de 100 : 1. La unidad es lo suficientemente robusta para resistir las alteraciones que se presenten y es del tipo de baño de aceite.

Rectificador mecánico

La salida de alta tensión del transformador se conecta al rectificador mecánico. Este es de contactor rotatorio y se mueve por medio de un motor síncrono de 1.500 r.p.m., dotado de un estator móvil. Con este medio se rectifica la corriente monofásica de alta tensión, obteniéndose la corriente continua necesaria para que se verifique la precipitación. Realmente el rectificador no proporciona una corriente continua, sino una serie continua de impulsos unidireccio-

nales. El estator móvil, ya mencionado, sirve para obtener la tensión más adecuada para el tipo de separador que se utilice. Según el punto que se tome de la onda de tensiones, se aplicará más o menos diferencia de potencial al separador. Este ajuste se hace durante la puesta a punto de la instalación y puede considerarse raras veces satisfactorio si no se sobrepasa algo los 35 kV.

Entre otros aparatos de control hay un miliamperímetro conectado en el retorno de tierra del rectificador, que tiene por misión indicar el consumo de corriente de la cámara de tratamiento y también se utiliza para elegir la polaridad más conveniente. Se han empleado rectificadores estáticos o metálicos, en sustitución de los de tipo mecánico. Sin embargo, el rectificador mecánico es muy sencillo y puede ajustarse para funcionar con cualquier clase de precipitador. Es muy robusto y precisa poco mantenimiento.

Ya se dijo al principio que el equipo de alta tensión debe producir una corriente cuyo potencial será tan elevado como sea posible, pero que no llegue a alterar su estabilidad, es decir, que no produzca descargas en el separador. El rectificador mecánico rotatorio monofásico produce una corriente pulsante muy particular. Debido a la típica forma de su onda es muy propicio a la apertura de arcos en la cámara de polvos. Mantener la tensión al máximo valor estable es difícil conseguirlo por medios manuales. Para regularla automáticamente se han construido dispositivos que realizan esta misión sin necesidad de vigilarla. Una unidad de este tipo es capaz de trabajar con una tensión óptima para que la instalación produzca el máximo rendimiento. Su funcionamiento es demasiado complicado para describirlo en este artículo. Únicamente se indica que el control automático de tensión consiste en un sistema de relés, que quedan actuados al producirse alteraciones en el precipitador. Estos relés elevan o rebajan la tensión por medio de un motor piloto que actúa al regulador.

Para evitar las sobrecargas se utilizan cortacorrientes automáticos. Un dispositivo repone la corriente tres veces consecutivas antes de conectarse la alarma.

Finalmente, a la salida del rectificador existe otro juego de cortacorrientes.

Dispositivos de seguridad

Como puede verse en la fig. 5, todo el equipo de alta tensión del precipitador está apantallado con tela metálica y provisto

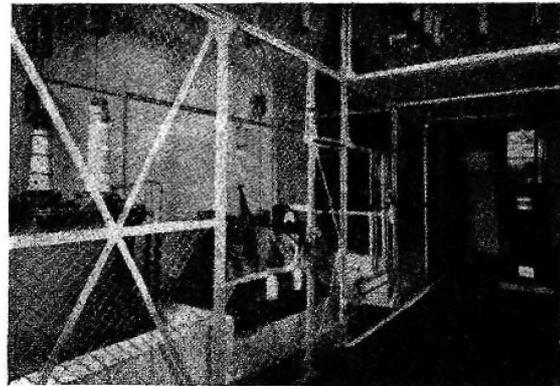


Figura 5

de dispositivos de seguridad que impiden entrar en el recinto apantallado hasta que no se ha desconectado la corriente en la zona correspondiente. Al mismo tiempo, todos los aparatos quedan automáticamente conectados a tierra.

La construcción de un precipitador electrostático depende de muchos y complejos factores. El proyectista que lo realice debe estar familiarizado con las características de los gases, tamaño y composición química de las partículas de polvo, resistividad de los humos y otros diversos factores. Para obtener los resultados apetecidos, es esencial poseer una amplia experiencia.

necesario precisar esta definición para cada industria, ya que un carbón que se considera malo para un gasógeno puede considerarse como excelente para el hogar de una central térmica.

Volvamos a considerar las diversas características que hacen, en el lenguaje corriente, clasificar los combustibles en las categorías inferiores.

La primera es seguramente, y casi «evidentemente», el poder calorífico: nosotros estamos acostumbrados a un combustible tomado como patrón de medida, el carbón de 6.000 ó 7.000 calorías por kilo, de manera que los carbones de bajo poder calorífico, al parecer, deben clasificarse en la categoría de los pobres; además, al pagar cierto tonelaje de carbón, se paga una cantidad de calorías que confirma el punto de vista inicial, y los gastos de transporte proporcionales al tonelaje bruto no hacen más que confirmarlo.

No obstante, aparte el precio del combustible pagado en proporción al poder calorífico, la consideración de esta magnitud de «cantidad» no es la única ni aún la principal: en vista de las calorías, examinemos la magnitud de «posición» que les conferirá lo esencial de su valor sobre todo en nuestra industria; lo mismo que —para tomar de nuevo una comparación trivial— no se evalúa solamente el valor de una caída de agua por la producción de fuerza motriz por cantidad de agua suministrada, sino también y sobre todo por la altura de la caída.

Ahora bien, un combustible está caracterizado por la elevación de su temperatura de combustión (recordemos brevemente la definición): 1 kg de combustible proporciona en combustión neutra (es decir, sin exceso ni falta de aire) un peso F de gas de humos, cuyo calor específico medio es C, siendo P calorías el poder calorífico inferior (a presión constante, agua no condensada): estando el combustible y el aire fríos, si la combustión se efectúa en un recinto impermeable al calor, todas las calorías contenidas en estado latente en el combustible pasarán al estado sensible en los humos cuya temperatura se elevará a T. Esta temperatura es, por definición, la temperatura teórica de combustión neutra:

$$T = \frac{P}{FC}.$$

La importancia de esta noción es considerable. Primero es definitiva para comparar entre sí los diversos combustibles bajo el punto de vista de su valor de empleo; esta temperatura permite apreciar, en efecto, para cada problema térmico, el descenso de temperatura disponible entre la fuente de calor, por una parte, y el receptor o la carga a la temperatura final de elaboración, por otra; permite, pues, esta temperatura, establecer la clasificación de los combustibles basada en su valor esencial como agentes de calefacción. Si la temperatura de combustión es elevada en relación a la que debe alcanzar la materia a tratar, la operación de calefacción se hará rápidamente gracias a un porcentaje elevado de la transmisión de calor; por el contrario, si la temperatura es baja, la operación industrial estará como paralizada por una transferencia de calor demasiado poco intensa, y la producción del horno disminuirá: se concibe, por tanto, su importancia para la utilización de los carbones pobres.

De un interés capital según definición general, la noción de temperatura de combustión es, en la práctica, de una aplicación difícil por varias razones: primero, porque constituye un límite superior que no puede nunca alcanzarse debido a los fenómenos de disociación que se hacen sentir a partir de 1.500° C y en una medida que aumenta con la temperatura; luego, por el hecho de las pérdidas de calor en el ambiente de manera que una fracción del calor latente del combustible no es transferida a los humos, y, por último, porque la combustión no es nunca neutra y está, por el contrario, realizada con falta de aire o con exceso de aire: la falta de aire aumenta la pérdida de calorías que se escapan con los humos; el exceso de aire diluye las calorías, y, en los dos casos, la temperatura final es realmente inferior a la que daría la combustión neutra.

A pesar de estas correcciones importantes que no hay que olvidar, la temperatura de combustión continúa siendo de un gran interés, porque permite, en condiciones iguales, comparar los combustibles; también