

662.64.004.14 = 666,94 = 60

611 - 52

## carbones pobres. utilización de combustibles pobres en la fabricación de cemento

conferencia pronunciada en Costillares, el 29 de abril de 1958, por M. Henri Guillon,  
director técnico de la O. C. C. R. de París, correspondiente al cursillo de  
Carbones Pobres, organizado por el Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento

### I.—INTRODUCCION

En el trabajo que vamos a exponer a continuación, se considerará el empleo de los combustibles pobres desde el punto de vista térmico. De este modo, por una parte se examinará el papel que desempeñan como agentes de calefacción y no como aportadores de elementos minerales a la materia prima; por otra parte, se tratará de aquellos combustibles pobres para los cuales la materia combustible es el elemento más importante en oposición a algunas materias de recuperación, desechos de minas o cenizas de hogares, por ejemplo, que contienen principalmente materias minerales y accesoriamente alguna proporción de carbono.

Como todo problema industrial, el de los combustibles pobres se plantea por consideraciones económicas. En primer lugar las industrias, para las que el consumo de combustible es factor importante del precio de coste, tienen interés en buscar el aprovisionamiento de calorías a bajo precio; luego los países, como España o Francia, que deben importar combustibles se ven en la necesidad de emplear al máximo los carbones de mala calidad y reservar los mejores para usos más difíciles. No obstante, en cada industria, una vez planteadas las exigencias económicas, la técnica tendrá la tarea de satisfacerlas y fijará los límites de las posibilidades prácticas (dos ejemplos

opuestos ilustrarán este problema): para una central térmica el consumo de combustible constituye el elemento esencial del precio de coste, y técnicamente el empleo de carbones muy pobres no origina dificultades excesivas, vista especialmente la temperatura relativamente baja del vapor producido y, por ello, el empleo de productos mineros de baja calidad es corriente en esta rama de la industria. Por el contrario, para la producción del acero en el horno Martín, a pesar de la importancia del carbón en el precio de coste, no se puede asegurar la explotación y, en particular no se pueden alcanzar las altas temperaturas indispensables para la fusión del acero sin recurrir al empleo de buenos carbones para la alimentación de los gasógenos.

El problema de la industria del cemento es más complejo. Exige temperaturas elevadas, pero se acomoda, en cierta medida, a carbones pobres. Y precisamente del examen de esta posibilidad es de lo que vamos a tratar.

### II.—CARACTERISTICAS DE LOS COMBUSTIBLES POBRES DESDE EL PUNTO DE VISTA DE SU EMPLEO EN LA INDUSTRIA DEL CEMENTO

El lenguaje industrial corriente parece haber especificado claramente la definición de los combustibles pobres: en realidad es

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

demuestra cuán útil es tender por medio de la regulación hacia la combustión neutra. También explica por qué el empleo de aire secundario recalentado (recuperando el calor del enfriamiento del clínker) eleva el nivel de la temperatura de combustión, puesto que las calorías de este aire se añaden, para una misma masa de humos, a las del combustible. Todos estos puntos importantes que debemos limitarnos a señalar aquí, encuentran su aplicación en la marcha del horno de cemento.

Debemos, sin embargo, atraer la atención sobre un punto particular que tiene su utilidad para comprender la marcha del horno: si la definición de la temperatura teórica de combustión se aplicase rigurosamente, todas las calorías del carbón pasarían a los humos; por consiguiente, la temperatura de éstos constituiría la temperatura de la fuente de calor, y los humos —es decir, la masa gaseosa— representarían la única fuente de calor. En realidad, los fenómenos son más complejos; en curso de combustión, una fracción, por lo menos muy importante, del calor se transmite por radiación directa de la llama sobre la materia: de esta manera la temperatura de la masa gaseosa al final de la combustión ya no es la de la única fuente de calor.

Es por lo que, cuando grandes físicos, como Henri le Châtelier, hace 50 años, dieron la noción de temperatura de combustión, se creyó, gracias a este descubrimiento, obtener una vista de conjunto clara y casi sencilla de los fenómenos térmicos: el examen más profundo del problema ha revelado una complejidad mayor, y las recientes investigaciones sobre la radiación de las llamas muestran cuán modestos son todavía nuestros conocimientos.

Pero queda sabido que la temperatura de combustión continúa siendo un punto de indicación notablemente esencial para la cuestión que nos ocupa aquí de comparar el valor de los combustibles. Veamos, pues, después de haber recordado estas definiciones conocidas, su aplicación para la utilización de los combustibles pobres.

Señalemos que, particularmente para el horno de cemento, las diferencias de temperaturas de combustión no son tan importantes como se podría creer; principalmente por una razón sencilla, y es que para la

combustión de combustibles pulverizados es preciso el secado del carbón, en la operación de la molienda, para hacerle perder de esta manera el agua, la cual, en su vaporización y recalentamiento en el transcurso de combustión absorbería una importante cantidad de calorías, y más si tenemos en cuenta que los carbones pobres son casi siempre los más húmedos (más adelante veremos la corrección que, para algunos lignitos, hay que aportar a esta observación general).

Por otra parte, ya sabemos que los carbones secos producen prácticamente un peso de humos proporcional a su poder calorífico. Según la sencilla fórmula mencionada más arriba, se ve que, en ciertos límites, todos los carbones (secos) alcanzan temperaturas de combustión muy análogas. Esta afirmación es muy alentadora para el empleo de los carbones pobres en la industria del cemento. La aprensión que a menudo se tiene en utilizarlos, por ejemplo, según la experiencia que se ha realizado con las parrillas mecánicas, no está justificada, ya que, en estos últimos hogares, el combustible se quema en estado bruto, es decir, sin secado previo; de ahí que, con frecuencia, haya un descenso considerable de la temperatura de combustión.

Se observará una caída de esta temperatura, sobre todo debido a las cenizas. Para fuertes contenidos, por ejemplo 40 %, el cálculo demuestra que la temperatura puede reducirse alrededor de 200° C, lo que a menudo no es todavía prohibitivo; por el contrario, si además de un contenido elevado, las cenizas son calcáreas, la descarbonatación en el seno de la llama absorberá una cantidad de calor que podrá llegar a ser tan importante como para limitar la posibilidad de utilización de un carbón determinado.

De esta manera en lo concerniente a la temperatura de combustión, criterio esencial del empleo de carbones, recordemos que para los usos normales no hay peligro en emplear carbones pobres, puesto que, por una parte, se secan antes de la combustión y, además, su contenido en cenizas aun hasta 30 % o un poco más no determina ningún descenso peligroso de la temperatura; no obstante la naturaleza química de las cenizas, sobre todo el contenido en

CO<sub>2</sub>, Ca, puede originar una caída importante de esta temperatura. Como en el empleo de combustibles pobres, por consiguiente casi siempre muy cenizosos, se debe tener en cuenta la naturaleza química de las cenizas como aportación a la materia cruda, necesariamente se prestará atención sobre la presencia eventual de caliza en las cenizas que podrá obligar a limitar el empleo de un combustible considerado.

En la acepción general del término de combustible pobre, entra frecuentemente otra consideración que se añade a las que acaban de ser examinadas de poder calorífico y temperatura de combustión. Es la que, en la escala de los combustibles, según su clasificación por su contenido en materias volátiles, concierne a las categorías extremas, ya sean los muy pobres en materias volátiles, carbones antracitosos, o los muy ricos, los lignitos.

Estos carbones están considerados frecuentemente como pobres debido a su dificultad en encenderse o en arder completamente, por lo menos en los hogares corrientes: veamos sucesivamente para cada una de estas categorías lo que hay que pensar para su uso en fábricas de cemento.

Los carbones antracitosos acusan un contenido en materias volátiles inferior a 8%, corrientemente de 5%; éstas no empiezan a destilar más que sobrepasando los 750°C, lo que, en general, estorba mucho el proceso de encendido: se sabe, en efecto, que un carbón de calidad media se enciende bastante fácilmente, porque hacia los 400°C las materias volátiles que destilan se encienden y mantienen con su combustión una temperatura ambiente favorable al encendido y a la combustión del carbono fijo que prosigue por encima de 800° a 900°C según su reactividad. Los antracitosos no desprenden más que pocas materias volátiles y sólo a una temperatura elevada, que es casi la del encendido del carbono fijo; además estas materias volátiles, constituidas por el hidrógeno puro o mezclado a veces con elementos incombustibles (oxígeno parcialmente combinado, nitrógeno, etc.), favorecen mediocrementemente el encendido de un carbono que además es, corrientemente, poco reactivo. Se comprende el poco entusiasmo de los usuarios en consumir estos

carbones. Exactamente, ¿qué es lo que pasa en un horno de cemento?

También aquí las condiciones de empleo son más bien favorables. En efecto, una vez el horno en marcha, el carbón —previamente secado— es arrojado en un centro con temperatura elevada, del orden de 1.500°C, donde el encendido se efectúa inevitablemente; el carbón antracitoso arde por consiguiente, pero la llama es la de una nube de carbono fijo, casi sin acompañamiento de combustión gaseosa. De ello se deriva que, en circunstancias iguales, la llama es más alargada y no es susceptible de modificaciones de regulación y de posición como la de los combustibles más ricos en materias volátiles como veremos más adelante. La única variable es la de la finura de la molienda, que permite acelerar o disminuir la velocidad de combustión y por consiguiente, el largo de la llama. La temperatura, la del carbono, es elevada, salvo reservas señaladas más arriba.

De esta manera no se hallan dificultades especiales en el empleo de los antracitosos si no es una cierta rigidez de la llama, o falta de flexibilidad de la regulación para contrarrestar las dificultades de conducción.

En el otro extremo de la escala de los combustibles tenemos los lignitos: éstos, haciendo abstracción de las cenizas, tienen contenidos de 40 ó 45% en materias volátiles; éstas se desprenden a temperatura baja, 300° - 350°C, a veces incluso la pirogenación comienza mucho más abajo por desprendimiento de vapor de agua, llamado de «constitución» (por oposición al agua de humedad) hacia 150°C, que muy pronto se acompañará de un desprendimiento de CO<sub>2</sub>. Este principio de destilación a tan baja temperatura molesta mucho la operación del presecado del combustible, pues el lignito pelagra de encenderse prematuramente. Es por lo que algunos lignitos «jóvenes» en la era geológica, y fuertemente oxigenados, deben ser quemados después de un secado moderado; la cantidad de vapor de agua desprendido (con o sin CO<sub>2</sub>) disminuye la temperatura de combustión: en límite, este punto merece ser examinado.

Existen también lignitos —como por ejemplo, en Francia en el terreno de las «Landas»— que contienen una importante proporción de desechos de madera fósil:

ésta última resiste prácticamente la moljenda, de manera que estos lignitos no pueden ser utilizados en hornos de cemento, excepto quizás recurriendo a materiales especiales.

Pero el lignito de calidad «media» no es un combustible malo para el horno de cemento: se enciende muy fácilmente —¡algunas veces demasiado!— la combustión de la fase gaseosa, la de las materias volátiles, conserva tanto mejor la del carbono fijo cuanto que éste es generalmente muy reactivo, lo que compensa notablemente algunas dificultades que, a veces, se encuentran en la pulverización, pues algunos lignitos son plásticos y se muelen bastante mal. La llama, no muy caliente, es muy flexible; quema enseguida, y manejando las proporciones aire primario/aire secundario se puede alargar o acortar la llama. Aumentando en valor relativo la cantidad de aire secundario, el cual está calentado por recuperación sobre el clínker, se alarga la llama y se eleva útilmente la temperatura de combustión al mismo tiempo que se economizan calorías. Por el contrario, se observa la influencia de un factor contrario según el cual, un aumento del aire primario acorta la llama debido a que aumenta la velocidad de combustión, notablemente la de las materias volátiles, y disminuye el poder de radiación de la llama, puesto que las materias volátiles quemadas no tienen tiempo de sufrir un «cracking» con liberación de carbono, que es el agente principal de la radiación.

Esta combustión acelerada al contacto de la materia parece aumentar la transmisión de calor, a pesar de la disminución de la radiación. La marcha óptima será un término medio entre las dos regulaciones.

Paralelamente a estos fenómenos considerados en relación a la fuente de calor, conviene examinar la importancia de la posición de la llama y de su forma en relación con la elaboración de la materia.

Sin pretender tratar aquí este problema a fondo, recordemos que, el horno de cemento, bajo el punto de vista de la absorción de calor por la materia, es el lugar donde tienen lugar tres operaciones diferentes: primero secado y calentamiento, luego descarbonatación y, finalmente, clínkerización. La primera está realizada por

medio de «calores perdidos» de las zonas más calientes, según un proceso que no interesa directamente a la combustión. La segunda absorbe muchas calorías, calor latente de descarbonatación, sin exigir una temperatura elevada. Por el contrario, la tercera no absorbe calor, pero no puede efectuarse más que a una temperatura elevada.

Para la producción del horno sería, por tanto, suficiente, en principio, mantener una temperatura elevada en la zona de clínkerización, y llevar en cierto modo, el esfuerzo de la transmisión de calor en la zona de descarbonatación; y para esto haría falta, en principio, alargar la llama hacia esta zona.

En realidad el problema se vuelve más complejo por el hecho de que las zonas se superponen unas con otras, ya que en el seno de un mismo gránulo, y según su dimensión, la periferia puede comenzar a clínkerizarse, mientras que el corazón menos caliente está todavía en el estado de la descarbonatación. Sin embargo, parece oportuno, en medio de la complejidad de los fenómenos térmicos que producen interferencia y de las dificultades de conducción, formaciones diversas de anillos, costras, etcétera... guardar, en la medida de lo posible, esta visión general del reparto de las transmisiones necesarias en principio por la absorción de calor de las diferentes zonas y que está condicionada en una amplia medida por la posición de la llama y sus diversas «cualidades»: longitud, temperatura, intensidad de la radiación o de su convección viva.

Al observar estos factores concernientes a la fuente de calor, ¿cómo se sitúan para el usuario las posibilidades prácticas de utilización de los combustibles y más particularmente de los carbones pobres? Se concibe cuán agradable sería disponer de un combustible «flexible» al máximo que permita, por su riqueza, su temperatura, sus posibilidades de encendido y de velocidad de combustión, «actuar» sobre los diferentes factores térmicos para adaptarlos a los deseos del momento: alargar o acortar la llama, cambiar su temperatura para evitar formaciones peligrosas de anillos con objeto de acelerar en lo posible la producción, etcétera...

Todo usuario está de acuerdo con que el combustible rico, flameante, pobre en ceniza es de un empleo muy cómodo. Pero el papel de cada uno es, por el contrario, remediar las dificultades y hacerles frente, más bien que buscar soluciones de facilidades incompatibles con las necesidades económicas.

### III – COMBUSTIBLE DE COMPLEMENTO

Entonces, para utilizar los combustibles pobres que, según la situación geográfica de cada fábrica, se imponen, hay dos posibilidades: utilizar lo mejor posible el combustible pobre tal como es o recurrir al sobrante de un combustible más rico para ayudar al otro.

La primera solución trae consigo dificultades evidentes, sobre todo, claro está, para los combustibles «límites»: se trata de mantener la combustión y la temperatura de llama, y, sin tener grandes posibilidades para hacer variar esta última, luchar contra los incidentes inevitables: se logrará gracias a la habilidad de los horneros para mantener la marcha; pero, a menudo, no se hará uno dueño de la marcha del horno y, a veces, no se mantendrá la actividad más que disminuyendo la producción: bajo este punto de vista es justo señalar que la economía en la utilización de un carbón pobre está eventualmente compensada en parte por una producción moderada.

La segunda solución facilita más amplias posibilidades: el carbón pobre se utilizará como combustible base y será «valorizado» de alguna manera gracias a un complemento de 10 a 20 % por ejemplo, —variable en cada caso concreto—, y según la calidad del combustible pobre, —en calorías «nobles»— tomadas de un combustible rico.

Existen varios medios de realizar esta solución: primero la mezcla de un carbón rico con un carbón pobre para compensar los defectos de este último —teniendo en cuenta las cenizas y la incidencia de su mezcla sobre las posibilidades de fusión—. Esta solución no es posible más que si la mezcla es muy regular: si no el hornero dispondría de una fuente de calor variable y

desconocida. Se sabe cuán difícil es en la práctica realizar una mezcla muy constante de los dos carbones, pero la cosa es posible. Por este medio se obtendrá así un combustible de calidad determinada y aceptable.

Otro medio consiste en aportar al horno calorías suplementarias mezclando a la materia cruda un carbón aunque sea muy pobre. Este proceso, ensayado hace 30 años y mencionado en el Congreso de Calefacción en París en 1933, se utiliza ahora a menudo: la experiencia ha demostrado que el carbón se calienta progresivamente con la materia hasta alcanzar su temperatura de encendido precisamente hacia la zona de descarbonatación, donde la aportación de calorías, *en el seno mismo de la materia*, es excelente. Claro está que se recomienda utilizar carbones magros, ya que las materias destiladas a baja temperatura no se encienden y se pierden. Debido a esto hay una especie de estabilización de la temperatura en la materia que facilita el empleo del carbón pobre en el quemador del pulverizado: hay que observar que el carbón mezclado a la materia prima puede ser rico en cenizas.

Un tercer medio consiste en recurrir a la combustión mixta con un combustible distinto —líquido o gaseoso—, quemado al mismo tiempo con el carbón pobre pulverizado.

La llama del combustible líquido ofrece las ventajas conocidas de temperatura, pero, por el contrario, no es muy flexible: es cierto que se puede variar más o menos sobre la aportación del aire secundario para perfeccionar la combustión, para alargar o acortar la llama, pero ésta queda condicionada, en gran parte, por la pulverización que determina la forma de la llama generalmente corta.

Por el contrario, el combustible gaseoso ofrece el máximo de flexibilidad y de posibilidades de variaciones para la llama debido a que su naturaleza física es la misma que la del comburente: el aire atmosférico. Sobre todo en un sitio cerrado y caliente, como el horno de cemento, su combustibilidad no está prácticamente limitada con tal que el aire esté admitido en cantidad suficiente, y la combustión puede ser regulada en las proximidades de las pro-

porciones teóricas; esto es favorable para la obtención de las temperaturas elevadas.

Admitido a gran velocidad el gas puede dar una llama muy larga llevando lejos en el horno la transmisión de calor deseado.

En combustión mixta con un carbón pobre, el gas aportará a este último un elemento de complemento de temperatura y de posición según las fluctuaciones de marcha.

Frente a estas ventajas generales, hay que considerar las características particulares de los gases eventualmente disponibles: hay que reconocer que las posibilidades son bastante limitadas en lo que respecta a los gases ricos, gas de horno de cok, generalmente muy costosos, o gas natural, exclusivamente disponible en algunas regiones.

Pero querríamos señalar una posibilidad nueva que ofrece un procedimiento bastante reciente de gasificación de mazuts pesados.

#### IV.—EL GAS DE MAZUT

El principio del procedimiento OCCR se basa en el de la conservación del calor total del combustible: si se quema un aceite pesado con una cantidad de aire correspondiente a la oxidación del carbono en CO (con la proporción inevitable de CO<sub>2</sub> resultante de los equilibrios termo-químicos), la experiencia muestra que se alcanza una temperatura de, alrededor, 1.200° - 1.250°C que es, precisamente, la del establecimiento de los equilibrios favorables para la obten-

ción de los gases combustibles  $\frac{CO + H_2}{CO_2 + H_2O}$

de esta manera se obtiene, por una parte, una mezcla que contiene gases combustibles que aportan su calor latente y, por otra, una masa gaseosa que aporta un complemento de calorías bajo la forma de calor sensible. El total de los calores sensible y latente es igual teóricamente, en virtud del principio de conservación de la energía, al calor latente del combustible inicial. Prácticamente la única pérdida (para el gasógeno de mazut) es la que resulta de la radiación del gasógeno, o sea, alrededor 1%. El procedimiento tiene, por consiguiente, un gran rendimiento, lo que es absolutamente necesario para el interés económico de un

sistema cuyo objeto esencial es la transformación de la energía con vistas a disponer de ella bajo una forma más fácil de utilizar.

Se observará que el principio de esta gasificación era el de Siemens; aplicado al carbón, con las dificultades inherentes a la forma sólida del combustible y a las cenizas, el rendimiento de la operación es forzosamente mucho menos elevado que con el mazut. Y sin embargo, ¿no es una invención genial la que está como en su origen en el desarrollo de las industrias del fuego y aún de la industria de 100 años a esta parte?

Desgraciadamente se comprueba que, con frecuencia, la preocupación de facilitar la explotación de los talleres ha conducido a centralizar la producción de gas en una fábrica, lo que ha traído consecuentemente, para la distribución ulterior en una red de canalizaciones, una depuración que trae consigo el enfriamiento del gas. Es así como, además de las sujeciones del equipo de depuración, hemos llegado a adoptar la solución paradójica y antieconómica de un procedimiento de transformación de energía —la gasificación— cuyo rendimiento es, desde la salida, reducido en un 25%. Además al limpiar el gas de partículas de carbono o de brea en suspensión, se le quita lo que da a la llama sus cualidades de radiación tan valiosas para la transmisión del calor.

Por el contrario, consideramos que el gasógeno debe tener un papel comparable al del carburador que transforma el combustible líquido en combustible gaseoso por un procedimiento que, conservando prácticamente toda la energía disponible, confiere al gas las cualidades necesarias para proporcionar una llama perfecta.

El primer beneficio de la conservación de la energía es de salvaguardar la temperatura de combustión. Pero a esta cantidad teórica esencial, se añaden las que resultan de las características de las llamas de gas, flexibilidad en la regulación, extensión, velocidad de combustión, intensidad de la radiación.

Se ve todo el interés que el complemento de tal llama puede conferir a la explotación de un horno de cemento alimentado con un combustible muy pobre que quemado sólo no ofrece más que pocas posibilidades en las variaciones de la regulación.

Nos parece útil el describir muy rápidamente la realización del procedimiento: como el aceite pesado o mazut es inyectado en el gasógeno con un consumo regulado y controlado fácilmente por una parte y, por la otra, que no contiene prácticamente cenizas, el gasógeno se presenta bajo una forma extraordinariamente sencilla. En un pequeño horno cilíndrico vertical, el aceite fluye en uno o varios chorros líquidos no pulverizados; de esta manera se evitan, en el gas, arrastres de granos minúsculos, pero muy poco reactivos, de coke Conradson que resultan de la carbonización de las gotitas elementales. Por el contrario, el mazut que corre sobre la solera del gasógeno destila rápidamente, dejando allí, como residuo, el coke; éste es barrido metódicamente por los chorros de aire primario insuflado por las toberas. A la temperatura de régimen alcanzada, la experiencia muestra que el coke es oxidado —principalmente a CO— a medida que tiende a formarse. Los vapores de hidrocarburos desprendidos sufren un «cracking» que los descompone en hidrógeno o carburos ligeros y carbono; el carbono de «cracking» (u hollines) se oxida parcialmente, a su vez, pero la regulación de la admisión de aire en relación a la del aceite (es la presión del aire, regulación a voluntad, la que ordena, a la vez, el consumo de aire y el de aceite) deja subsistir en el gas bastante carbono en suspensión para producir ulteriormente la llama radiante deseada.

Se obtiene, en definitiva, un gas que tiene la composición media siguiente:

CO <sub>2</sub> . . . . .	4 ‰
CO . . . . .	16 ‰
H <sub>2</sub> . . . . .	14 ‰
CH <sub>4</sub> . . . . .	4 ‰
N <sub>2</sub> . . . . .	62 ‰

1 kg de aceite pesado de 9.600 calorías (PCI) produce 4,6 m<sup>3</sup>N de gas aportando:

calor latente de los gases :	1.200 calorías
» sensible » » » :	400 »
» latente del carbono :	450 »
	<u>2.050 cal/m<sup>3</sup>N</u>

Ya hemos señalado las notables cualidades de la llama obtenida por combustión de este gas: efectivamente este gas muy ca-

liente, rico en carbono, arde dando una llama muy voluminosa y con mucho poder de radiación que asegura una transmisión de calor tal que, en cerca de 200 aplicaciones diversas en Europa, se ha podido notar casi siempre una economía notable en el gasto de combustible.

Todavía no habíamos podido aplicar este procedimiento a la industria del cemento, pues si las puestas a punto industriales no pueden ser efectuadas definitivamente más que sobre las instalaciones de las fábricas, es, sin embargo, necesario el empezar por una aplicación en una instalación piloto.

Queremos, pues, que nos sea permitido el expresar nuestro agradecimiento a la Dirección de este Instituto, la cual, comprendiendo el interés que podía aportar esta solución nueva, no vaciló en ofrecer para este procedimiento la hospitalidad de su estación piloto; estando tanto más contentos cuanto que no existe en Francia, y creemos que tampoco en Europa, una instalación tan perfectamente equipada para efectuar tales ensayos.

Un gasógeno de mazut de un poder nominal de 100 kg/hr fué pues instalado, con un quemador de gas. La puesta en marcha se efectuó sin dificultad, el horno de cemento funcionó normalmente con un consumo de combustible de alrededor de 50 kg/hr solamente; de manera que el primer ensayo acusó una economía de combustible del orden de 25 ‰. Se apreció que el gasógeno y el quemador estaban sobredimensionados y una reducción de las dimensiones del quemador, particularmente, aparece como necesaria.

Esencialmente en la solución considerada era sobre todo interesante el hacer el ensayo de una combustión mixta con carbón pulverizado: un ensayo rápido fué improvisado y demostró la posibilidad de la marcha. Desgraciadamente, como sucede a menudo en el curso de los ensayos, la marcha fué interrumpida por accidentes materiales, y ahora, se procede a un ajuste de los quemadores.

Sin juzgar de antemano los resultados venideros, los primeros que han sido obtenidos confirman el interés de principio del procedimiento.

## V.—CONCLUSION

En el cuadro del programa de trabajo fijado por la Dirección de este Instituto, es decir, la utilización de los combustibles pobres, hemos expuesto las bases teóricas que condicionan la realización de esto. Hemos visto que el horno de cemento se acomoda, en gran parte, con los carbones pobres, siempre que su naturaleza asegure la obtención de una temperatura de combustión suficiente; fuera de este punto de vista, el problema de la llama, muy complejo, exige posibilidades de regulación que se estrechan a medida que el carbón se vuelve más pobre; se llegan a encontrar dificultades con ciertos carbones, lo que está en peligro de traducirse en una baja de producción.

Por esto, en el límite de las posibilidades prácticas, con algunos carbones cuya calidad se sitúa, es interesante recurrir a un pequeño complemento de calorías «nobles» suministradas por un combustible rico, asegurando la estabilidad de la marcha, al mismo tiempo que la flexibilidad, en los casos de dificultades de conducción.

Hemos pensado, fuera de los medios clásicos, en utilizar la llama de gas de mazuf, flexible y potente, que permite aportar un complemento variable en cantidad, temperatura y posición del punto caliente en el horno.

El procedimiento de gasificación utilizado conservando la energía del combustible bajo forma sensible y latente, tiene un rendimiento de 98 ó 99 % y utilizando un aparato muy sencillo. Ha sido aplicado por primera vez en la estación piloto del Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento. Los primeros ensayos se han revelado satisfactorios acusando una economía de calorías importante, de alrededor 25 %; se prosiguen ensayos de combustión mixta.

El problema, una vez esclarecido por ensayos en escala semi-industrial en esta estación piloto, será necesario que la puesta a punto industrial se emprenda metódicamente a fin de definir no solamente los detalles de instalaciones, sino una doctrina de conducción de los hornos.

Se puede esperar gracias a este complemento eficaz, representando del orden de 10 a 20 % de las calorías necesarias al horno, poder no solamente utilizar con éxito, es decir, mejorando la marcha industrial y el porcentaje de producción, los carbones pobres usuales, sino abordar metódicamente el empleo de los carbones juzgados hasta ahora como de calidad demasiado baja. Se podrá de esta manera, aportar una contribución útil a la economía de la industria del cemento en España y en los países que importan combustibles.