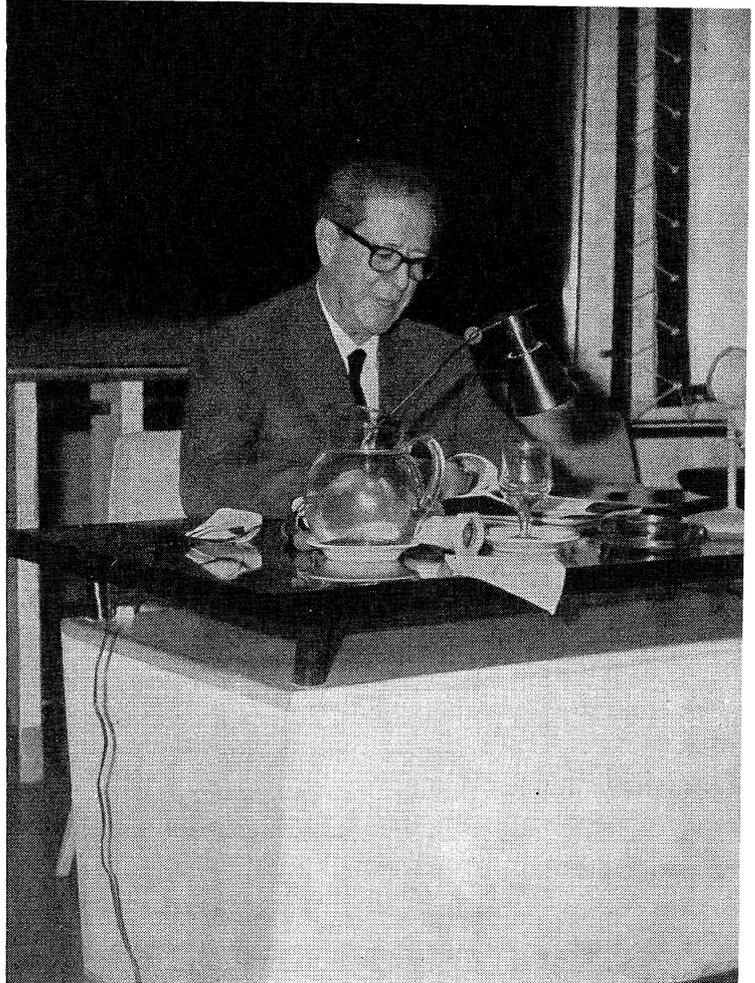


### **5.3. Consideraciones sobre los hornos rotativos cortos con recuperadores de parrilla y suspensión en gases**

**ALFREDO SERRATOSA NADAL**  
Ingeniero Industrial  
Compañía Valenciana de Cementos Portland, S. A.



Por una curiosidad mía, al pedir al Instituto una orientación sobre los actuales procedimientos de calcinación me veo en la situación difícilísima de, a mi vez, tener que orientar sobre dos de dichos procedimientos. Los dos los tenemos actualmente en nuestras fábricas y parece natural que debiera conocerlos hasta el último detalle, pero desgraciadamente he de confesar que no los conozco hasta ese extremo y mucho menos hasta poder dictaminar sobre cuál de ellos es el mejor.

Por dicho motivo yo agradeceré mucho a los que me escuchan que tengan indulgencia conmigo y perdonen si, en mis apreciaciones, no estoy en lo cierto. Por mi parte, agradeceré cualquier sugerencia o cualquier indicación que me haga rectificar, pues no sólo he venido a exponer mis experiencias, sino también a aprovecharme de las de los demás, y cuantas más veces se me contradiga y más veces se me pruebe que no estoy en lo cierto, más provecho sacaré de este coloquio.

Por último, y antes de entrar en materia, desearía que mis juicios no se aprovechen por otros para valorizar otros sistemas de calcinación, en perjuicio de los que vamos a tratar.

Sentiría de verdad que, al criticar estos sistemas, alguna casa constructora se pudiera perjudicar por haber podido influir en la decisión sobre la maquinaria a adquirir.

Afortunadamente, para descargo de mi conciencia, lo que voy a exponer en esencia se ha publicado en la revista «Últimos Avances de Materiales de Construcción», de este Instituto en el número 110, en un estudio del doctor Munk, Director de los Servicios Técnicos de la Dyckerhoff.

Puedo pensar que todos los interesados en esta clase de hornos han leído ese estudio, y mi exposición no hará variar el juicio que de su lectura se haya podido sacar sobre ellos.

No creo deba dilatar esta exposición, dando muchos detalles del tipo de estos dos sistemas de calcinación. Son tan conocidos de todos que no creo haya ningún cementista que no los conozca, aunque trabajen por vía húmeda con hornos verticales u hornos largos.

De todas formas, para la mayor claridad, daré una rápida explicación de los dos sistemas.

Los intercambiadores se colocan en la zona del horno rotativo en la que la efectividad del intercambio de calor es baja, por el poco contacto entre los gases y la masa a calcinar. Esta zona es aproximadamente en donde los gases tienen unos 1.200° centígrados.

El horno rotativo queda reducido a la zona de mayor temperatura, actuando como un mezclador rotatorio, facilitando las reacciones que se producen hasta la clinkerización total (fig. 1).

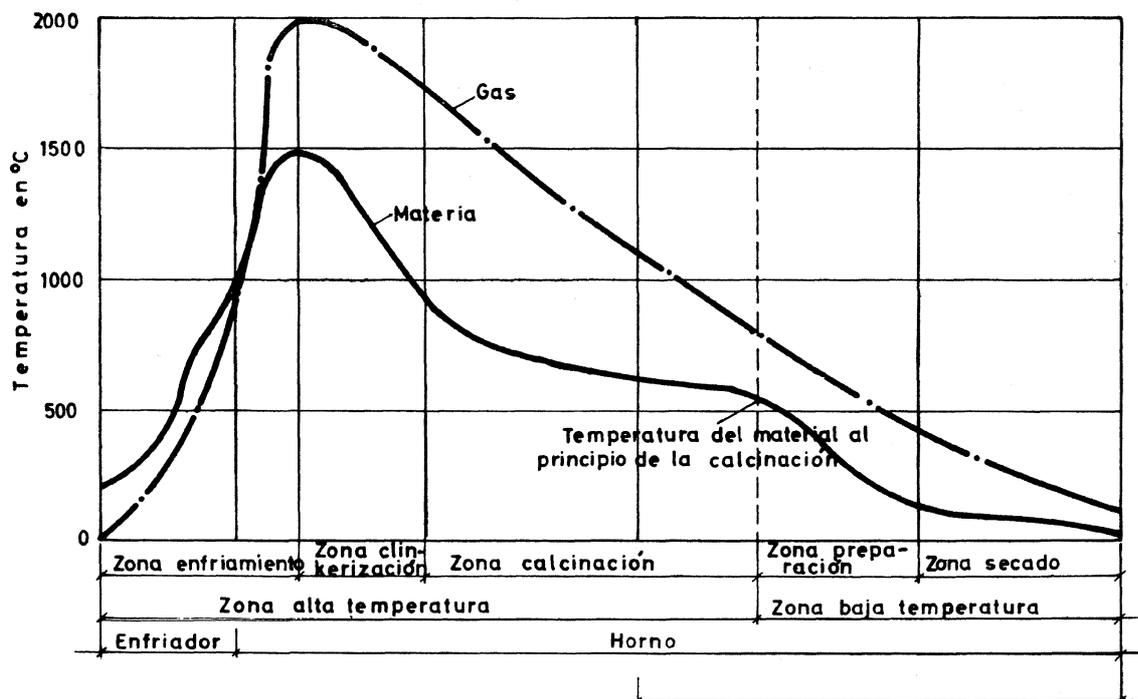


Fig. 1.—Representación esquemática de temperatura de gases y materia en un horno rotativo.

### Horno Lepol (fig. 2).

Se caracteriza por realizar la recuperación del calor de los gases al hacerlos pasar a través de una capa de gránulos situada encima de una cinta transportadora formada por elementos de parrilla.

Esta cinta está alojada en una cámara revestida de refractario, que queda dividida por la cinta en dos partes. La superior con los gases calientes, y la inferior que trabaja a depresión y que obliga a esos gases a pasar a través de la capa de gránulos dejando su calor en los mismos. El contacto íntimo de los gases con la superficie de los gránulos durante el tiempo que éstos permanecen en la parrilla hace que el intercambio de calor se haga de una forma eficaz.

En los primeros tiempos había dos cámaras superiores y una sólo inferior. La repartición de calor en las diferentes zonas de la parrilla era bastante imperfecta, y para mantener a temperatura más baja la zona de secado se acudía al artificio de añadir aire frío, por una entrada auxiliar situada al principio de esta zona, y con ello se evitaban, en parte, los peligros de un calentamiento brusco e intenso de los gránulos.

Fig. 3.—Representación de temperatura y reacciones en la materia, en un sistema de horno corto, parrilla Lepol.

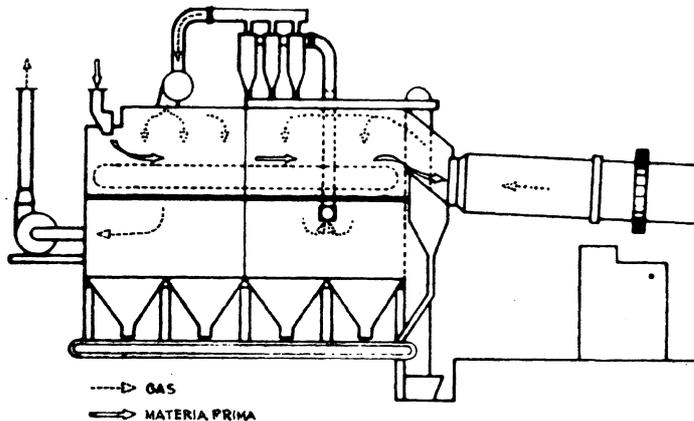
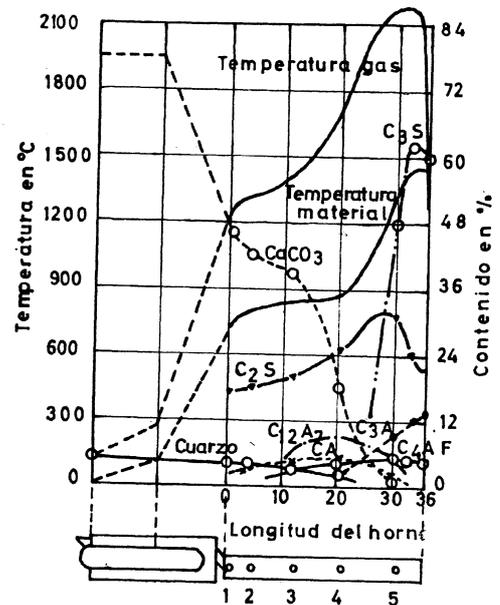


Fig. 2.—Esquema de parrilla Lepol de doble paso de gases.



Este inconveniente se ha subsanado con el doble paso de gases. La parrilla se divide en dos zonas, superior e inferior, que siguiendo la marcha del material se llaman zona de secado y zona de descarbonatación (fig. 3).

En la cámara de secado los gases entran a unos 280° y salen a 110° C. La materia cruda con 12/14 por 100 de humedad, se deseca y pasa de la temperatura ambiente a la de unos 100° C. Es esta primera fase de una gran importancia para la marcha del horno. El secado debe realizarse sin destruir la forma del grano, ya que de su forma depende la permeabilidad de la capa y, por tanto, la facilidad al paso de gases y la regulación del aire de combustión. Una plasticidad grande de los granos y una presión elevada en la tolva de alimentación de gránulos, de la parrilla, puede dar lugar a un apelmazamiento de la materia en el momento de la carga de la misma y a una compacidad excesiva y perjudicial.

También, si el gránulo es poco poroso, puede ocurrir que el vapor producido en el interior del mismo no pueda salir con facilidad, dando lugar a la explosión de este gránulo y, con ello, a una disminución también de la permeabilidad de la masa. Este fenómeno se produce cuando es mayor el tamaño del gránulo.

El material, ya seco y estable, pasa a la segunda cámara, en donde los gases que recibe están a unos 1.200° C, saliendo a unos 280° C después de atravesar la capa de gránulos. Estos gases, a la salida de la cámara se filtran en unos ciclones antes de ir a la cámara de secado anteriormente indicada, evitando que el polvo que siempre llevan los gases del horno y los que se produzcan en la parte de la parrilla caliente puedan disminuir la permeabilidad de la cámara de secado. Con este filtrado, además, se consigue que los gases lleven en suspensión muy poco polvo, disminuyendo todavía éste al atravesar los gases la capa de gránulos húmedos de la cámara de secado. Por dicho motivo, el contenido de polvo en los gases, a la salida de la parrilla, es muy reducido y en algunos casos cercano a lo que toleran las actuales normas. Como consecuencia de esto, la depuración no es un problema importante.

En esta segunda cámara, cuya parte superior se mantiene a temperatura constante, el material se va calentando a medida que avanza, llegando al final a una temperatura media de unos 750° C, completamente deshidratado y con una descarbonatación que podemos cifrar en un 37 por 100 del total, en el promedio de la materia que entra al horno.

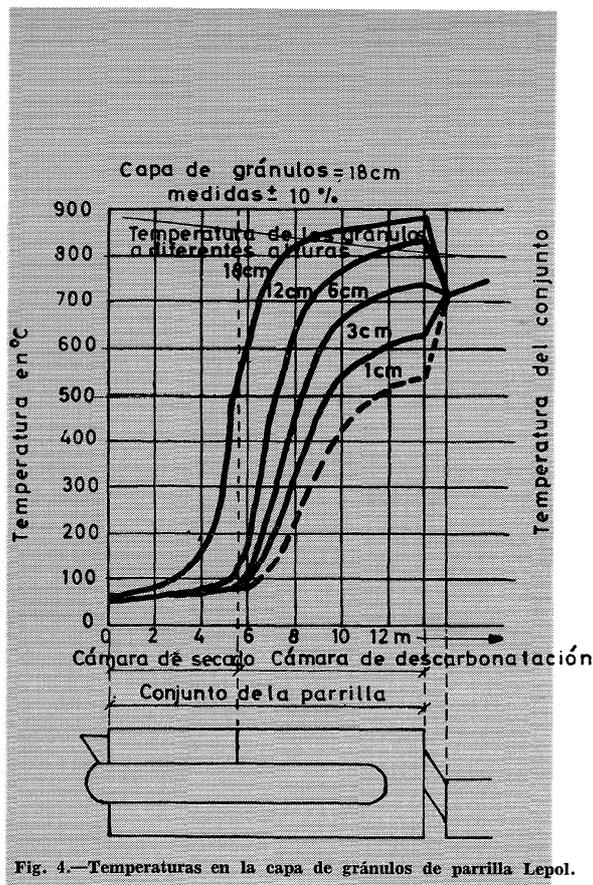


Fig. 4.—Temperaturas en la capa de gránulos de parrilla Lepol.

mezclar el polvo crudo seco con los gases calientes del horno, también en la zona de los  $1.200^{\circ}\text{C}$ , para facilitar el intercambio del calor entre uno y otros.

La idea es de gran simplicidad, pero su realización debe haber tenido grandes dificultades.

El polvo debe quedar en suspensión dentro de los gases el tiempo necesario para que éstos cedan el calor a aquél. Una vez fríos deben salir al exterior y el polvo debe entrar en el horno cuando tenga la temperatura conveniente.

Hasta llegar a conseguir este resultado debe haber habido una cantidad de ensayos costosísimos, que sólo es posible imaginar si tenemos en cuenta el tiempo transcurrido entre la presentación de la idea y la puesta en práctica a escala industrial.

La solución práctica la lanzó primeramente, y con éxito, la casa Humboldt, mediante un escalonamiento de cuatro ciclones; el primero de los cuales, es decir, el más frío, se divide en dos de menor diámetro y de efecto de captación mayor. Siguiendo el camino del material, o sea, del ciclón más frío al más caliente, designaremos a éstos con los números 1 a 4 (fig. 5).

El polvo se introduce en la tubería de gases que sale del segundo ciclón y es arrastrado al ciclón doble número 1. El polvo separado en éste cae en la corriente que sale del tercer ciclón, y es separado por el segundo. El polvo de éste va a la corriente que sale del cuarto, se recoge en el tercero y se vierte en la corriente que llega del horno, separándose por fin en el cuarto y entrando el material en el horno, por un resbaladero, a unos  $800$  grados centígrados.

Por la descripción del camino que sigue el polvo se ve que se lleva un proceso de contracorriente en la sucesión de escalones, si bien, dentro de cada escalón o ciclón, no se trabaje realmente a contracorriente. Los gases y el polvo se mezclan en cada punto de descarga de éste, y acaban de mezclarse y de separarse al mismo tiempo en cada uno de los ciclones. En cada ciclón van tomando una cantidad de calor, según la temperatura de los gases. Estos entran en el sistema a unos  $1.200$  y salen a unos  $330^{\circ}\text{C}$ . El polvo entra a la temperatura de unos  $50$  y sale del sistema a unos  $800^{\circ}\text{C}$  (fig. 6).

Como se ve los gases todavía tienen una cantidad de calor importante del orden de las  $170$  kilocalorías/kg de clínker.

Conviene tener en cuenta que por hacerse el calentamiento de arriba abajo de la capa de gránulos de  $20$  cm de espesor, la temperatura no es la misma en toda la profundidad de la capa. En la parte superior la temperatura de la masa llega a unos  $900^{\circ}\text{C}$  y en la parte inferior a unos  $550^{\circ}\text{C}$ . Se comprende que las condiciones de descarbonatación y preparación sean también diferentes en las distintas zonas (fig. 4).

Por todo lo dicho creemos muy interesante que a la entrada del horno haya algún dispositivo para retener el material y, de esa forma, lograr una mayor uniformidad de temperatura de los gránulos antes de llegar a las zonas más calientes del horno, en donde se realizan las reacciones de los componentes del cemento.

#### Sistemas de intercambio por suspensión en gases

Desde hace más de treinta años se está trabajando en esta idea. Consiste en

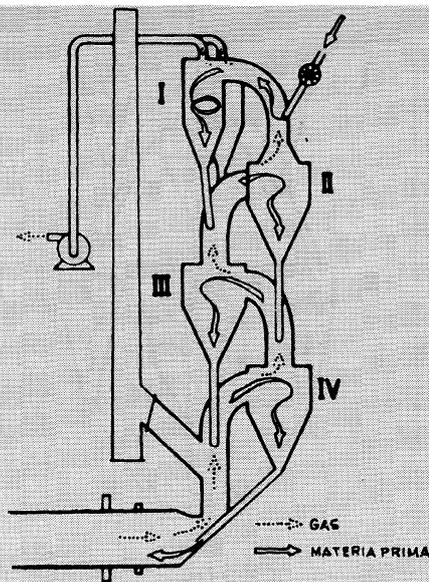


Fig. 5.—Esquema de intercambiador Humboldt de cuatro escalones en serie.

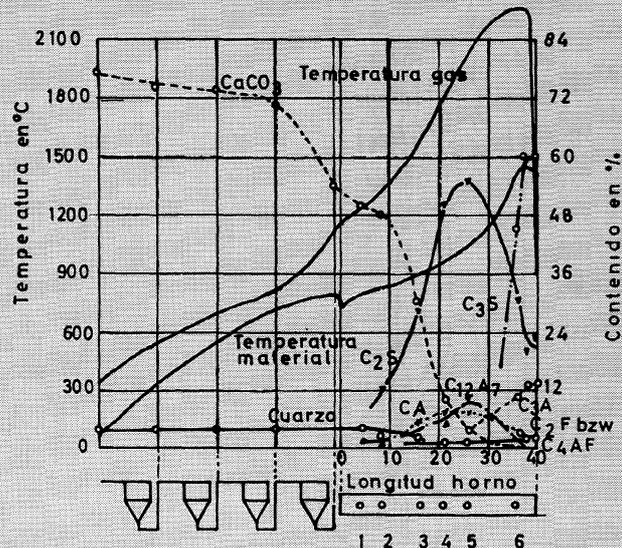


Fig. 6.—Representación de temperatura y reacciones en la materia en un sistema de horno corto, intercambiador Humboldt.

Parece, a primera vista, que se podría recuperar en parte este calor añadiendo algún escalón más al sistema, pero la complicación que ello llevaría por mayor altura de edificio, transporte de crudo y consumo de energía no compensaría el aprovechamiento de alguna caloría más. A medida que la temperatura de gases baja, el intercambio de calor se hace menos efectivo.

Por otra parte, debido al hecho de ser secos los gases, son muy aptos para el aprovechamiento en el secado de primeras materias.

Si éstas contienen del 7 al 8 por 100 de humedad, el aprovechamiento es óptimo. Si, por el contrario, tienen menos, el aprovechamiento ya es menor, pues existe un exceso de calor disponible que no hay posibilidad de aprovechar en el secado.

### Otros sistemas de intercambiadores

Ante la revolución que produjo este sistema de suspensión en el proceso térmico de los hornos han sido varias las casas constructoras de maquinaria que han seguido este camino para el aprovechamiento del calor de los gases. La competencia ha obligado a ponerse al mismo nivel en ese aspecto, ya que se puede decir que desde el año 1951 al 1962, según un informe de la agrupación de fabricantes alemanes, el consumo de calor de los hornos ha disminuido en un 50 por 100, es decir, se consume la mitad en 1962 que en 1951, debido, desde luego, a muchas causas, pero una de las principales es la aparición de estos intercambiadores que han marcado un tope inferior al que todos pretenden llegar.

Todos los intercambiadores funcionan, en esencia, a base de ciclones en serie o paralelo, incluyendo algunos, en el sistema, unas cámaras de contracorriente en las que los gases entran por la parte inferior y el polvo por la superior, efectuándose el intercambio de calor en condiciones que parecen técnicamente mejores (fig. 7).

De todas formas, si los gases entran y salen del sistema a las mismas temperaturas, hay que sacar la consecuencia de que, prácticamente, son igualmente eficaces.

En realidad, en los 20 ó 30 s que dura el proceso en el intercambiador, pocas ventajas se pueden conseguir entre unos y otros sistemas.

No me alargó en descripciones para no prolongar esta exposición.

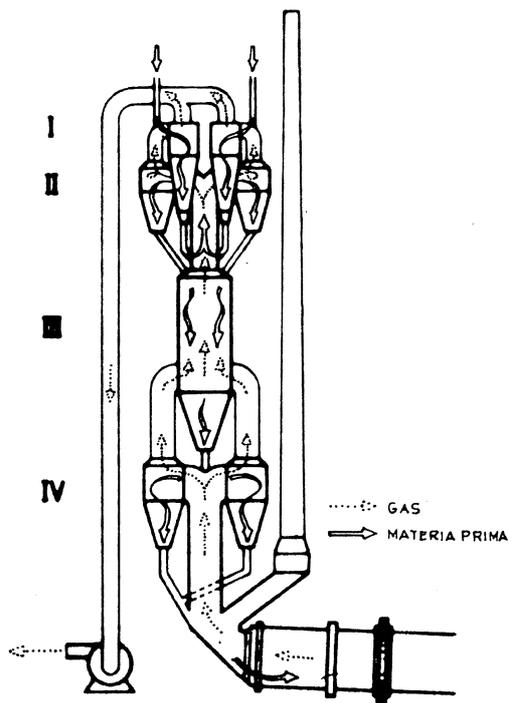


Fig. 7.—Esquema de intercambiador Dopol con una cámara a contracorriente y escalones en paralelo.

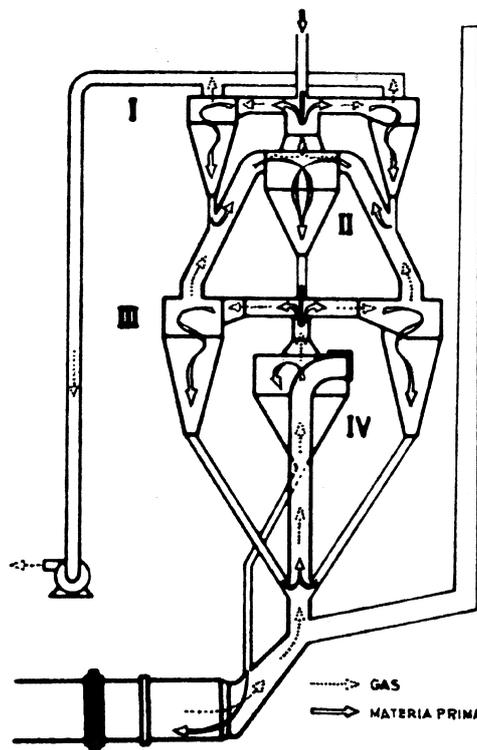


Fig. 8.—Esquema de intercambiador Wedag con escalones en serie y paralelo.

### Problemas que presenta la conducción de estos hornos

Mucho se ha discutido, y mucho se discutirá todavía, entre los partidarios de los diferentes sistemas, sobre todo entre los que sacrifican la seguridad de marcha al rendimiento térmico; entre los que prefieren la máquina única más sencilla a la más complicada mecánicamente. Es de suponer que nunca se pongan de acuerdo. Por ello, lo que voy a exponer a continuación me preocupa, pues es como dar armas a los contrarios de estos sistemas.

Por de pronto, debo exponer que, sin duda alguna, estos sistemas son los más económicos de calor para igualdad de calidad de producto. Quizás del orden de un 10 ó un 12 por 100 sobre el sistema que, en ese aspecto, le siga.

Esa ventaja indiscutible quizá compense la mayor dificultad que en otros aspectos se pueda presentar, dificultades que desde luego no son insuperables, pero que conviene exponer para conocerlas y con el estudio y discusión ver la forma de resolverlas mejor.

En el horno Lepol, es capital la perfecta granulación de la primera materia. Los gases de la combustión han de atravesar la capa de gránulos que, según su permeabilidad, actúa como un registro más o menos cerrado. El aire necesario para la combustión estará influenciado por el estado de la parrilla y, por tanto, la combustión misma, con las consiguientes capacidades de combustible a quemar y producción del horno.

Todo el problema de conducción del horno se reduce, en esencia, a la granulación. Si ésta es perfecta, el Lepol es de los hornos más tranquilos y fáciles de conducir.

La parrilla realiza el papel de un alimentador ideal, que se puede maniobrar, rápida y exactamente, variando la velocidad de la parrilla, y además sobre una zona, como es la de descarbonización o calcinación, relativamente próxima a la zona de clinkerización. Se está, pues, en condiciones óptimas para tener una marcha regular del horno, ya que las correcciones del hornero se puede decir que tienen inmediato efecto en la zona que él observa. No creo haya horno alguno que reúna esas condiciones. En todos hay un defasaje entre la corrección y la

observación de los efectos de la misma, que puede dar lugar a oscilaciones periódicas hasta conseguir el equilibrio.

Contribuye también a ello la forma esférica de los gránulos, que produce una masa homogénea y tranquila dentro del horno, por lo que su avance es regular y las condiciones con que llega a la zona de calcinación son ideales.

En la enfriadora, en donde el clínker llega en forma de esferas, conservando el tamaño de los primitivos gránulos, las condiciones de trabajo son excelentes para el funcionamiento y rendimiento de esta sección, sobre todo cuando se trata de enfriadoras rápidas de parrilla tipo oscilante como las Fuller o Folax, o tipo de parrilla como las de Polysius.

Normalmente el clínker sale de ellas a temperatura muy baja, de 50 ó 60° C, con lo que el problema de transporte de clínker a la salida del horno queda muy simplificado. En algunos casos puede transportarse por cinta de caucho. La cantidad de aire de refrigeración es relativamente reducida, por lo que la pérdida de calor en el aire que sale de la enfriadora es sólo del orden de las 60 kcal/kg de clínker y en el clínker no excede de las 15.

Por último, el problema candente de la expulsión de polvo por la chimenea es de muy fácil solución. La temperatura de los gases de 110 a 120° C, así como su grado de humedad, son inmejorables para una buena precipitación. Con un electrofiltro no excesivamente grande y con velocidades de circulación en el interior del mismo de más de 1 m/s tenemos gases con menos de 0,3 g/m<sup>3</sup> normal y seco, cuando lo que se exige es 0,8.

Finalmente, la parte mecánica del horno, con un personal de taller apto y una vigilancia normal, no es problema que preocupa. Los días de marcha no quedan esencialmente disminuidos por ese concepto, y la parrilla, normalmente, se puede revisar y reparar aprovechando paradas producidas por otras causas, como son refractarios, elementos de transporte, etc. La contribución de la parrilla Lepol a las paradas no es anormal.

Después de lo expuesto podréis pensar que este horno es una alhaja y, efectivamente, así sería si la granulación fuera siempre perfecta.

Si, por el contrario, se tienen dificultades en la granulación, el horno Lepol funciona con irregularidad. La combustión es imperfecta por falta de aire, la producción se reduce, el clínker es defectuoso por falta de temperatura y por trabajar en atmósfera reductora; por esta última razón se pueden formar anillos frecuentes; en fin, que lo que era un horno perfecto se puede convertir en un horno difícil.

Por dicho motivo, como problema básico en el horno Lepol se tiene la granulación. No es insoluble, pero hay que estar muy seguro sobre la posibilidad de que los gránulos sean lo más regulares y perfectos posibles.

El tiempo que se pueda perder en unos ensayos exhaustivos del problema será recuperado, con creces, al poner en marcha la instalación.

La calidad del gránulo hecho en el plato granulador está supeditada a muchas variables, unas dependientes de la primera materia, como son finura, plasticidad, temperatura, humedad, y otras debidas a la instalación, como son regularidad de alimentación de crudo y agua, velocidad del plato, diámetro, inclinación, altura del borde. Sobre todas ellas se puede actuar con más o menos fortuna. Pero, por lo mismo que hay tantas variables, se está en último extremo pendiente de la habilidad, interés y atención del obrero encargado de dicha granulación.

Este, en definitiva, es el punto flaco del horno Lepol: el depender del encargado de la granulación.

No creo que las básculas automáticas que ahora se empiezan a instalar resuelvan completamente el problema. Mejorarán las condiciones de trabajo eliminando una de las variables más importantes, pero no eliminará las demás.

Creo, con lo anteriormente expuesto, suficientemente tratado el sistema Lepol.

En los sistemas de suspensión de gases, los problemas que se pueden presentar en la conducción del horno son completamente diferentes.

Nos referiremos al intercambiador Humboldt de cuatro escalones, formado por ciclones.

El crudo entra en los ciclones en forma de harina cruda, a la que normalmente se añade el polvo que se recoge en el electrofiltro y que puede llegar al 4 por 100 de la materia cruda.

Por estar en depresión todo el sistema de ciclones, y especialmente los escalones más fríos, hay que tomar especiales precauciones de estancamiento para evitar que la depresión llegue a los sistemas de dosificación que podrían ser causa de grandes variaciones en ésta.

Actualmente, en los hornos modernos, la alimentación se hace con básculas continuas automáticas, que actúan por peso y cuya variación puede efectuarse desde el puesto de control del horno.

La perfecta marcha del sistema intercambiador-horno depende de una perfecta alimentación. Los sistemas más primitivos con redler, esclusas, vises, etc., no pueden cumplir las condiciones para una marcha correcta.

El polvo pasa rápidamente por los escalones, y en un tiempo de 20 a 30 s entra en el horno. La masa que se calienta en el intercambiador es, pues, muy reducida. En un horno de 1.000 toneladas/día la cantidad de crudo que normalmente está en el intercambiador es del orden de los 450 kilogramos.

Se comprende que este pequeño volante térmico sea muy sensible a cualquier variación en el sistema de alimentación. Sin embargo, este peligro no se deja sentir mientras no hay interrupciones en la instalación. Ahora bien, cualquier interrupción es de costosas consecuencias. Si es en la alimentación, la temperatura de gases sube rápidamente y, por tanto, con peligro de dañar el exhaustor y electrofiltro. Si la interrupción es en el ventilador, el material puede depositarse en la parte de desagüe de los ciclones y, como consecuencia, con peligro de obstrucciones. En la mayoría de los casos hay que actuar sobre los registros para echar los gases directamente por la chimenea auxiliar y, cuando la temperatura y régimen de gases están establecidos, volver a meter en circuito el intercambiador.

Estas interrupciones, así como un corte de corriente, por pequeño que sea, originan paradas que muy fácilmente pueden llegar a 1 hr hasta que vuelve a quedar todo en orden normal de marcha.

El polvo entra en el horno completamente suelto, caliente y homogéneo. Tiene, por tanto, una facilidad muy grande a correr como si fuera un líquido dentro del horno. Por dicho motivo hay que procurar no se formen embalses por costras o defectos en el refractario, ya que al desbordarse éstos por desprendimiento de la costra o por rotura de parte de ella pueden ocasionar avalanchas de material que invadan la zona de calcinación.

Este fenómeno puede producirse con más intensidad si hay obstrucciones parciales en los ciclones y por cualquier motivo se destruyen.

La calcinación, por esta causa, tiene que estar bastante bien vigilada por el hornero, ya que puede presentarse rápidamente el crudo en la zona y, como ya se ha dicho, el sistema del calcinador es muy sensible a cualquier modificación en su marcha.

Podríamos decir que es un horno irritable al que hay que tratar con dulzura y tacto.

El clínker presenta el aspecto de un clínker de vía húmeda. Es irregular de tamaño, y al lado de polvo hay pedazos gruesos. Por dicho motivo, las enfriadoras tipo Fuller no son muy apropiadas, y si se desea emplearlas conviene sobredimensionarlas. Para la misma producción de clínker, la enfriadora de un Lepol puede ser más pequeña que la de un Humboldt.

El tamaño variable, y los pedazos grandes del mismo, dificultan el enfriamiento uniforme, por lo que para que el clínker salga a la misma temperatura hay que inyectar más aire que, necesariamente, hay que verter al exterior, con el consiguiente problema de arrastre de polvo.

Un hecho que hemos observado es que la cabeza de salida tiene mayor temperatura en el horno Humboldt que en el Lepol y, por consiguiente, la duración del revestimiento es menor en el Humboldt. He de confesar, sin embargo, que también la producción específica por metro cuadrado de sección es en el Humboldt mayor que en el Lepol.

Y éste es, precisamente, uno de los puntos que quería tocar. El horno Humboldt, por su libertad de fuegos, tiene mucha más elasticidad que el Lepol en rendimiento.

Este último tiene más limitaciones, más autocontroles que aquél. Las características de la parrilla y capacidad de los ventiladores limitan las posibilidades del horno y difícilmente se puede sobrepasar el 10 por 100 de lo previsto.

El Humboldt, al contrario, es capaz de calcinar cantidades muy superiores a las previstas. Ahora bien, eso tiene sus peligros, porque puede, naturalmente, haber averías importantes en el refractario, en la boca de salida, en la enfriadora y en los elementos de transporte.

Conviene esto tenerlo muy en cuenta, sobre todo en los principios de la puesta en marcha, para no dejarse impresionar por esta cualidad del horno. No conviene forzarlo, pues si bien seguirá calcinando, alguna parte fallará gravemente, aunque sea una parte ajena al horno propiamente dicho.

Un motivo de serias perturbaciones en esta clase de hornos, son las posibles obstrucciones en los conductos de desagüe de los ciclones por los álcalis que se van concentrando en el circuito del intercambiador, sobre todo cuando el polvo recogido en el electrofiltro es reincorporado al circuito junto con la aportación de nueva harina cruda.

Si el contenido de álcalis en la materia prima es bajo no existe peligro alguno de obstrucciones, pero si sobrepasa la cifra de 1,2 por 100 hay que temerlas. Claro que con una vigilancia continua y un buen programa de limpieza en esos puntos, el problema queda aminorado. Ahora bien, conviene tenerlo en cuenta en la elección del sistema, con el fin de evitar sorpresas.

El problema de captación de polvo en los intercambiadores es de capital importancia y de no muy fácil solución. Los gases secos a temperaturas comprendidas entre 140 y 300° C tienen mucha resistencia eléctrica, mejorando cuando salen de esa zona de temperaturas. Las peores condiciones están entre 230 y 250° C. La temperatura de los gases de salida del intercambiador están, normalmente, algo por encima de los 300° C, aunque no muy alejadas. Se puede tratar con electrofiltro, pero precisa dimensionarlo con amplitud; y en muchos casos, a fin de asegurar este punto, se monta un electrofiltro doble para cubrir posibles interrupciones en uno de ellos y poder atender revisiones y reparaciones.

La cantidad de polvo en los gases de salida, que es del orden de los 30 g/m<sup>3</sup>, aconseja esta precaución, aunque sea costosa, para evitar reclamaciones.

Para llegar, por otra parte, a conseguir un contenido inferior a 0,8 g/m debe exigirse a los electrofiltros un rendimiento del 98 por 100. Por debajo de esta cifra hay peligro de no cumplir las prescripciones.

Como se ha indicado anteriormente, los gases del horno pueden aprovecharse para el secado de primera materia, introduciéndolos en el circuito de molienda de la misma. Los gases empleados en ello, toman humedad, se enfrían y quedan en magníficas condiciones de ser tratados en electrofiltro. La economía de calor en ese caso es indiscutible, pudiendo en las mejores condiciones, cuando el crudo contiene más del 6 por 100 de humedad, llegar a aprovechar 100 y más kcal/kg de clínker.

Ahora bien, en cuanto a instalación en la molienda de crudo y en el horno no conviene realizar economías para no hacer la marcha del molino y del horno completamente dependientes entre sí, por muchas razones. El horno debe poder funcionar sin el molino y viceversa. Por ello, en el molino hay que prever un hogar y un filtro, normalmente eléctrico, dado el gran volumen de gases que hay que tratar, ya que se encuentran a unos 320° C, cuando en un molino independiente entran a unos 550 grados centígrados.

Por otra parte, no siempre se puede emplear todo el caudal de gases en el molino, por no exigirle la humedad de la primera materia y, entonces, hay que prever una depuración en la parte no aprovechable.

En resumen, que como solución ideal en el conjunto horno-molino hay que prever la instalación de tres filtros eléctricos de dimensiones y rendimientos convenientes, y siempre superiores a los que precisa el horno Lepol y molienda independiente.

Se ha hecho alguna instalación de captación con tejido de vidrio, pero creemos debe ser una solución cara de instalación y entretenimiento, que sólo será aconsejable cuando por circunstancias especiales se exija una perfección exagerada en el grado de depuración.

Contrariamente a lo que expuse al tratar del horno Lepol, el cuadro que he presentado sobre la conducción de los intercambiadores ha sido de tintas más negras; sin embargo, he de confesar que la marcha y el rendimiento de este tipo de instalaciones tienen la ventaja de no tener preocupación alguna por el tipo de primera materia, ni por dificultades en el tiro y, por tanto, desaparecen los peligros de combustiones imperfectas con la consecuencia de posibles formaciones de anillos.

Todas estas consideraciones están basadas en nuestra experiencia en dos hornos de tipo Lepol y Humboldt, que podemos catalogar como primitivos. El primero es de simple paso de gases, y en el segundo, el intercambiador se acopló a un horno existente de bajo rendimiento térmico. La producción de estos hornos es de 290 y 320 t/día, y carecen de básculas automáticas en la alimentación de primera materia y combustible.

En la época en que se instalaron, podían considerarse como hornos de tipo normal. Desde entonces se ha desencadenado una carrera por las grandes unidades, y tanto los hornos de parrilla como los de suspensión de gases se construyen ya con producciones de hasta 1.500 t/día. Es de suponer que estas cifras serán superadas, si bien desconocemos si estas unidades tan enormes serán o no convenientes en la práctica, aunque técnicamente estén resueltas.

Desde luego, cuanto mayor sea la unidad, las irregularidades de marcha tienen mayor importancia y los problemas de transportes, reservas, distribución, etc., pueden salirse de los límites convenientes. Tiene, en cambio, la ventaja de resultar relativamente económica, por unidad de producto, los sistemas de control y regulación más o menos automática y, en fin, la mano de obra, si bien la calidad de esta última tiene, necesariamente, que ir aumentando. Como detalle, se me indicó que en una fábrica extranjera, el conductor del horno era un ingeniero, lo que no deja de ser un índice de la técnica que se está poniendo en la construcción de las fábricas de cemento. En cuanto a rendimiento térmico también se está llegando a cifras cada vez más bajas. De las 1.000 calorías con que se empezó en el horno Lepol, al iniciarse este sistema, se está llegando a 750 y hasta se habla de 700 en los hornos Humboldt. Es de suponer que estas cifras sean de los ensayos, con todo el cuidado y vigilancia que ponga el personal técnico de control, en composición de primera materia, combustible, marcha regular y... todo nuevo. Aún así, es posible que en marcha continua y regular de todo el año, se consigan las 800 u 850 calorías, lo que es una cifra muy cercana a la que arrojan los balances térmicos de los Lepol y Humboldt, en donde el calor se distribuye en 440 calorías en la formación de clínker y el resto hasta 760 en las siguientes partidas, que según el tipo de recuperador son más ventajosas para uno que para otro, pero que en conjunto resultan prácticamente iguales:

Evaporación de agua ... ..	130 cal en Lepol	0 cal en Humboldt
Pérdida de gases escape ... ..	60 cal en Lepol	130 cal en Humboldt
Radiación y convección ... ..	50 cal en Lepol	80 cal en Humboldt
Aire enfriamiento ... ..	60 cal en Lepol	100 cal en Humboldt
Calor clínker ... ..	25 cal en Lepol	35 cal en Humboldt
Varios ... ..	35 cal en Lepol	15 cal en Humboldt

Estos datos están sacados de un promedio de ensayos que figuran en un estudio del doctor Munk en hornos con producciones de 1.000 a 1.400 t/día de clínker. Para mayor aclaración de todo lo anteriormente expuesto, recomendamos el amplio y detallado estudio del doctor Paul Weber, «Intercambio de calor en hornos rotativos considerando los procesos de circuito y la nueva formación de fases». *Zement-Kalk-Gips*, extraordinario número 9.

Por todo lo expuesto, creo que la consecuencia que se puede sacar es que no hay ningún sistema que se pueda decir que es el indiscutible. En cada caso particular hay que hacer un estudio muy profundo de disponibilidades de primera materia, mano de obra, combustible, mercado, energía eléctrica y, en último término, de capacidad de tolerancia de preocupaciones de la dirección.

Con todo ello se puede hacer una valoración matemática de las ventajas técnicas y económicas de las soluciones estudiadas y, con ella, encomendarse a la divina Providencia para que nos ilumine en el momento de la decisión y nos proteja al poner en marcha la instalación.