

- 13 -

616-3 EL ENFRIAMIENTO RAPIDO DEL CLINKER PROCEDENTE DE HORNOS ROTATORIOS DE CEMENTO (Conclusión)

(Die Schnellkühlung von Klinker aus Zementdrehöfen)

W. Anselm.

De: "CEMENT-KALK-GIPS". 33, Febrero 1950.

Como complemento al trabajo de R. G. Uhlig, del mismo título (vea se Ultimos Avances nº 12, pág. 17), publicamos aquí la réplica o contestación de W. Anselm, aludido repetidas veces por el Sr. Uhlig, jefe de la sección de enfriadores rápidos de la Cia. Fuller. El texto de la contestación dice así:

i. Propiedades físico-químicas.

En esto coincidimos ampliamente. Pero no podemos ocultar que conocemos datos respecto a la molienda más fácil del clinker enfriado rápidamente que no confirman ese resultado; por ello sería conveniente moderar esas esperanzas exageradas, puesto que según nuestras experiencias los valores más favorables no pasan del 5%, mucho menores, por tanto, que la diferencia entre clinkers de molienda fácil y difícil. Respecto al cambio de color debieran verse especialmente los trabajos de Schwachheim y Kühl.

En cuanto a un contenido más alto de materia vítrea del clinker en cuestión debemos hacer presente que en el notable trabajo: "Long-Time - Study of Cement", Bull, 26, Res, Laborat. de la Portland Cement Assoc. Agosto 1948, Chicago, pág. 877-923, se indica especialmente que la determinación del contenido vítreo del clinker por medio del microscopio o por medida del calor de disolución no es todavía suficientemente exacta y esta sujeta a grandes fluctuaciones; se hacía notar ante todo que los valores oscilan fuertemente entre sí e incluso se ha determinado que tomando volúmenes iguales, un

- INSTITUTO TÉCNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO -

litro, el de menor peso tenía un contenido vítreo más alto que el de más elevado peso, lo que no podía preverse en manera alguna. En este artículo se llega a dar valores para el contenido vítreo de clinkers enfriados rápidamente inferiores al medio de los no enfriados de este modo.

Respecto a la observación de Uhlig de que el contenido vítreo del clinker enfriado rápidamente es una medida segura de contenido en cal libre, para juzgar la constancia de volumen del clinker o del cemento en el autoclave, puede decir que esto no es exacto para un clinker aglomerado obtenido por enfriamiento rápido en virtud de determinadas propiedades.

Se deduce de estas afirmaciones que no se pueden sacar conclusiones extremas referentes al contenido vítreo.

## 2.- Consideraciones técnicas y económicas.

En primer lugar hagamos constar que la zona de refrigeración en el interior del horno es decisiva para el enfriamiento rápido en el margen de temperatura de 1300 a 1200°C. En los hornos rotatorios se alcanzan estas temperaturas en el interior del horno y no se puede, por tanto, realizar un enfriamiento que dure 2 ó 3 minutos. Por esto introducimos las toberas muy dentro del horno, de forma que el clinker sale entonces del horno a 1370°C. Pero con esto se pone en grave peligro la salida y el revestimiento. Por consiguiente es justo desde el punto de vista técnico fijar para el funcionamiento una temperatura de sólo 1300°C. que todavía parece alta. Se debe tener en cuenta también que hay crudos que se sinterizan fácilmente, que necesitan para sinterizarse una temperatura de sólo 1300°C. Por esto se alcanza la temperatura necesaria en todos los casos en el interior del mismo horno rotatorio. Se piensa en la adición de fundentes, como espato flúor y óxido de hierro, con lo que en muchas fábricas se rebaja la temperatura de sinterización de 1450° a 1350° o bien, de 1350° a 1270°C. Todas estas son circunstancias por las que, en muchos hornos, si no la mayoría, la pequeña zona de enfriamiento en el interior del horno es decisiva para un enfriamiento rápido. Esta investigación debe llevarse a cabo antes de plantearse el problema de construir un enfriador rápido. Por ello

se procura activamente hoy en los Estados Unidos y en Alemania conseguir directamente el enfriamiento rápido en la zona de refrigeración del horno con enfriadores satélites (de tambor) corrientes adosados.

Más aún, debe considerarse como fundamental que, evidentemente, en la comparación de los antiguos enfriadores de tambor de diámetros longitudinales demasiado pequeños, con los modernos enfriadores rápidos salen mejor parados los últimos en cuanto al rendimiento y gasto de combustible. Este ha sido siempre el caso al colocar un enfriador rápido pero no al compararlo con un enfriador de tambor moderno que, casi siempre, al colocarlo en lugar de uno antiguo, dá un rendimiento 20% mejor y un gasto de combustible 20% más bajo.

Es conocido de cualquier director técnico, y ha sido comprobado por muchas investigaciones, que un enfriador de tambor moderno trabaja con un rendimiento de 83 a 85%, gastando 1400 a 1500 Kcal/Kg. de clinker. La diferencia entre el cálculo del balance térmico dado por Uhlig y el nuestro está en las pérdidas por radiación. Numerosas y detenidas investigaciones con termómetros de superficie sobre los enfriadores de tambor que están revestidos en dos tercios por lo menos de su longitud, bien empotrados y dotados de buenas palas, (en contra de la suposición de Uhlig), dan una temperatura superficial media de 175 a 125°C. De aquí resulta para un enfriador de tambor de 2,8 m. de diámetro, y 28 m. de longitud con una superficie de  $172 \text{ m}^2 + 20\%$  de los anillos de circulación etc. =  $206 \text{ m}^2$ , y una radiación de  $13 \text{ Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ , a 150°C de temperatura superficial media, una pérdida de calor por debajo de las 30 Kcal/Kg. de clinker. El valor dado por Uhlig para el enfriador de tambor es 118 Kcal/Kg. y está muy por encima de las pérdidas por radiación de un horno rotatorio. Por lo tanto el valor 30 Kcal. no es ningún valor "ideal", sino el resultado de medidas intachables y de un cálculo termotécnico exacto, sobre los cuales se pueden mencionar muchos ejemplos tomados de la práctica y de la bibliografía.

Introduciendo el calor específico medio para el clinker alemán resulta la siguiente comparación, fijando también el valor de 1370°C para

la temperatura de salida del clinker.

Balance térmico para el enfriador rápido a 0°C.

Calor en el clinker a 1370° : 1 x 1370x 0,245 =	336 Kcal/Kg.
Calor recuperado .....	250
Pérdidas por radiación .....	12
" " ventilación .....	62
Calor residual en el clinker a 65°C.,	
1 x 65 x 0,183 = .....	<u>12</u>
	336 Kcal/Kg.

Rendimiento del enfriador rápido, 74%

La diferencia entre los calores específicos del clinker americano y del alemán se debe al calor de fusión, que debe ser tomado en cuenta.

El valor según la Amer. Portl. Cem. Assoc. a 1370°C es 0,258; el alemán a 2370°C es 0,245, sin contar el calor de fusión; el valor alemán a 1370°C contando el calor de fusión es 0,258.

Sobre esto aparece en el número de enero de 1950 de Rades-Nachrichten (Anselm: "Die Wärmerechnung bei Brennöfen für Zement, Kalk, Magnesit, Dolomit") "El cálculo térmico de hornos de combustión de cemento, cal magnesita, dolomita") una explicación más completa. Con esto ya se tiene una diferencia de 18 Kcal/Kg. de clinker.

Las pérdidas por ventilación se calculan así utilizando las cifras de Taggart o Uhlig:

$$\frac{352 \text{ Nm}^3/\text{min.}}{237 \text{ Kg}/\text{min.}} \times 135^\circ\text{C} \times 0,312 = 62,5 \text{ Kcal/Kg. de clinker.}$$

Así se tiene aquí también una diferencia entre ambos cálculos de 62,5 - 43 = 19,5 Kcal.

La cantidad de calor recuperada se calcula a 645°C según Uhlig.

$$\frac{356 \text{ Nm}^3/\text{min.}}{237 \text{ Kg. Cli}/\text{min.}} \times 649^\circ \times 0,325 = 316 \text{ Kcal/Kg. de clinker.}$$

Pero en el cálculo del enfriador rápido se dan (Uhlig) 287 Kcal, lo que da por consiguiente una temperatura de:

$$\frac{287,237}{356,0324} = 590^\circ\text{C}$$

Pero según nuestros cálculos del balance térmico del enfriador rápido quedan disponibles solamente 250 Kcal de calor recuperado, de modo que tomando como base los valores dado por Uhlig resulta una temperatura para el aire secundario de:

$$\frac{250 \cdot 237}{356 \cdot 0,322} = 518^\circ\text{C.}$$

Así pues, no se puede tomar la temperatura de calentamiento del aire secundario dada por Taggart. Se pueden tolerar pequeñas diferencias (errores de medición) pero las medidas deben coincidir con el cálculo de alguna manera, de otro modo no tendrían valor alguno los cálculos termotécnicos.

En los cálculos anteriores se toma el 86% del aire secundario. Pero en la tabla I del original da el mismo Uhlig una proporción de aire secundario en los enfriadores rápidos de 55% utilizando carbón, lo que se aproxima mucho a nuestro cálculo de 58% de aire secundario a base de los datos de Taggart.

Resulta en el enfriador rápido un porcentaje de aire primario más elevado que en el de tambor, pero que no se justifica para todas las clases de carbón. En Alemania se tienen también valores determinados de la propor

ción de aire primario en función del contenido en volátiles del carbón. Según esto, se justificaría la proporción más alta de aire primario en el enfriamiento rápido utilizando carbones ricos en volátiles pero no en los pobres en gas.

Balance térmico del enfriador de tambor a 0°C.

Cantidad de calor del clinker a 1370°C (como antes)	336 Kcal/Kg.
" " " recuperada .....	279
Pérdidas por radiación .....	30
Calor residual en el clinker a 140°C,	
1 x 140 x 0,191 .....	<u>27</u>
	226 Kcal/Kg.
Rendimiento del enfriador de tambor .....	84%

Debe aclararse aún, que se podría hacer trabajar al enfriador de tambor todavía más, pero el máximo de economía corresponde para una temperatura del clinker de 100°C, a un gasto de calor de 2000 Kcal/Kg. de clinker, para 140°, 1500 Kcal/Kg. y para 250°C 1000 Kcal.

Por tanto, en el caso más favorable el rendimiento del enfriador rápido es de 74,5% siendo el valor medio el 66% (utilizando un cálculo más exacto del calor específico del clinker) y en el enfriador de tambor es de 84%. El mismo Uhlig da en la Tabla 1 un rendimiento del enfriador rápido empleando carbón como combustible (en un molino de aire insuflado), de 73,6% frente a un cálculo en el ejemplo de Taggart que da 81%.

En el caso más favorable se obtiene también aquí un consumo de calor del 2%. El aire total de combustión (primario y secundario) no puede alcanzar por consiguiente una temperatura más alta precalentándolo en el enfriador, con lo que desciende la temperatura de combustión y el rendimiento. Además, aumentan en la misma proporción la temperatura de salida de los gases y el calor consumido.

Por tanto, el valor medio de 4% dado por nosotros para el calor perdido está completamente justificado, y no está fundado sobre ningún error respecto a la cantidad de calor retenida en el clinker.

En hornos con un consumo de calor de 1000 Kcal/Kg. el calor desperdiciado pasa incluso de 2-4%.

Pero para la justificación del valor dado por nosotros en los hornos americanos debe tomar Uhlig en cuenta que en los Estados Unidos se calcula con el poder calorífico del combustible más elevado, y en Alemania con el más bajo.

Uhlig cree que revistiendo el enfriador de tambor se eleva la temperatura de salida del clinker. Pero no es así, ni puede ser. Digamos sólo a guisa de ejemplo que en los hornos Lepol se ha medido (utilizando pirómetros de aspiración) una temperatura de 750-800°C en el aire secundario después de hacerle pasar por enfriadores de tambor construidos correctamente. Como se ha dicho anteriormente, no se puede hacer descender la temperatura del clinker por debajo de 250°C en hornos con un consumo térmico de sólo 1000 Kcal/Kg. porque se necesita muy poco carbón y por tanto muy poco aire secundario para arrebatar calor del clinker.

Una determinada parte del calor economizado por estos hornos Lepol pasa precisamente a aumentar el rendimiento del enfriador de tambor. No creemos que unas temperaturas tan elevadas se puedan medir nunca en los enfriadores rápidos.

Ya que Uhlig piensa que cometemos un error al pasar por alto que cualquier cantidad de calor que se conserve en el clinker es calor perdido, podríamos remitirle a nuestras publicaciones sobre cesión de calor del clinker de horno rotatorio y aire de combustión (Drehofenklinkerabwärme und Verbrennungsluft, Zement 19 (1930), 287, y Zement 32 (1943), 396) donde se trata especialmente este punto capital del calor recuperado.

- INSTITUTO TÉCNICO DE LA CONSTRUCCIÓN Y DEL ARQUITECTO -

Puesto que Uhlig menciona el dardo de carbón pulverizado hagamos presente que en él tiene lugar una combustión del carbón húmedo, con lo que al mismo tiempo que desciende la elevada temperatura de las llamas necesarias para cocer el crudo, aumenta por consiguiente la temperatura de los gases desprendidos y disminuyen el consumo específico de calor y el rendimiento.

También aquí se puede considerar únicamente válida la comparación con las modernas instalaciones centrales de molienda, en las que se opera con polvo de carbón seco, y no con plantas antiguas y condiciones de ventilación pasadas de moda.

Nuestra propuesta de una forma relativamente barata de los enfriadores de tambor con ventiladores de inyección fué hecha con el único fin de evitar instalar enfriadores rápidos nuevos, y utilizar sin embargo el enfriamiento rápido con todas sus ventajas e inconvenientes. Esta posibilidad responde a una necesidad cierta de la industria, que, en las condiciones de crédito actuales, no pueden pensar en instalaciones nuevas.

No puede ignorarse el peligro del polvo en los enfriadores rápidos tal como lo demuestran ya varias instalaciones americanas que poseen ventiladores anejos.

Por desgracia, el señor Uhlig no pasa a considerar el gasto mayor de energía. El hecho de que sea compensado por una mejor capacidad de molienda, es muy dudoso, pues a un posible ahorro del 5% corresponde una necesidad de aumento de energía del 15%.

Esperamos que por medio de estas observaciones imparciales se haya conseguido una mayor claridad en la cuestión de los enfriadores rápidos.