616 - 77

fabricación económica de cemento a partir de crudos descarbonatados

(Wirtschaftliches Zementbrennen aus vorentsäuertem Rohmehl)

H. EIGEN

De: «Tonindustrie-Zeitung und Keramische Rundschau», vol. 80,
núm. 19-20, octubre 1956, pág. 334

En la cocción de clinker de cemento, empleando como materias primas sustancias previamente descarbonatadas (cal de desecho, escorias de horno alto, carburo cálcico húmedo, etc.), no se había podido reducir el consumo de calor por debajo de 780 kcal/kg de clinker, aunque el consumo teórico es del orden de 220 kcal/kg de clinker. Con este motivo el autor se ha decidido a investigar la termofísica de la cocción del cemento, en el caso de utilizar materias primas descarbonatadas.

En este trabajo de Eigen se presenta la cuestión en sus dos aspectos, teórico y práctico, que, a continuación, vamos a presentar de una forma concisa.

Los cálculos teóricos ponen de manifiesto que el consumo de calor por kg de clinker pueden reducirse tanto más cuanto menor sea el contenido en CO_2 de los crudos. Para contenidos inferiores a un 10 % de CO_2 , el calor de reacción se hace positivo, es decir, el proceso es exotérmico.

A la vista de estas consideraciones, el autor presenta un nuevo sistema para realizar la cocción del clinker partiendo de crudos descarbonatados. El nuevo sistema queda representado en la figura 1. El crudo, descarbonatado (cal de desecho, arcilla y cuarzo), perfectamente molido y homogeneizado, penetra, por el tubo 1, en el cambiador de calor 2, del tipo de suspensión en gases; en este cambiador se callentan los crudos, y pasan, por el tubo 3, al pequeño horno de sinterización 4. El clinker producido se enfria, rápida e intensamente, en el enfriador tubular 5, que gira a gran velocidad. La mayor parte del aire caliente, procedente del enfriamiento

del clínker, se conduce por un tubo 6, perfectamente aislado, al precalentador, penetrando por 7; los gases de escape, procedentes del horno, que han penetrado en el precalentador por el tubo 8, se enfrían, en la parte inferior del precalentador, a la temperatura del aire procedente del enfriador. Con el fin de reducir, antes de la entrada de los gases de escape en el cambiador de calor, la diferencia de temperatura entre dichos gases y el crudo, la zona de entrada del horno rotatorio está revestida con ladrillos de bolsillo.

- a) Enfriador.
- b) Horno rotatorio, conducción 6 y parte inferior del precalentador.
- c) Precalentador (sin la parte inferior).

Puesto que el cambiador de calor trabaja con una diferencia de temperatura de 200°C entre los gases de escape y el material sólido, la temperatura del crudo en el punto 7 es, aproximadamente, de $750^{\circ} - 200^{\circ}\text{C} = 550^{\circ}\text{C}$.

Los balances térmicos, que se pueden establecer, son los siguientes:

TABLA I

I.—Consumo total de calor por kg de clinker.

	kcal/kg clinker
1. Pérdida por las paredes del enfriador.	46
2. Pérdida por las paredes del horno rotatorio.	99
3. Pérdida por las paredes del precalentador.	43
4. Pérdida de calor sensible del clinker.	30
5. Calor de deshidratación.	14
6. Calor de vaporización del agua de hidratación.	14
7. Calor sensible de los gases de escape del precalentador.	110
8. Calor de formación del clinker (exotérmico).	— 134
TOTAL	222

TABLA II

II.—Balance térmico del enfriador tubular.

	kcal/kg clinker
1. Calor que entra	
a) Calor sensible del clinker: $1,0 \times 1.350^{\circ}\text{C} \times 0,257 =$	347
2. Calor que sale	
a) Calor sensible del aire de enfriamiento: $1,1 \text{ m}^3(\text{N}) \times 750^{\circ}\text{C} \times 0,3285 =$	271
b) Pérdida por las paredes del enfriador.	46
c) Pérdida de calor sensible del clinker.	30
TOTAL	347

TABLA III

III.—Balance térmico del horno rotatorio.

	kcal/kg clinker
1. Calor que entra	
a) Potencia calorífica del carbón.	222
b) Calor de formación del clinker (exotérmico).	134
c) Calor sensible del aire de enfriamiento: $1,1 \text{ m}^3(\text{N}) \times 750^{\circ}\text{C} \times 0,3285 =$	271
d) Calor de los crudos: $1,0 \times 550^{\circ}\text{C} \times 0,220 =$	121
e) Calor sensible del polvo que recircula (25 % de d) =	30
TOTAL	778
2. Calor que sale.	
a) Calor sensible del clinker: $1,0 \times 1.350^{\circ}\text{C} \times 0,257 =$	347
b) Pérdida por las paredes del horno rotatorio.	99
c) Gases de combustión: $0,250 \text{ m}^3(\text{N}) \times 750^{\circ}\text{C} \times 0,365 =$	68
d) Calor sensible del polvo que recircula: $0,25 \times 750^{\circ}\text{C} \times 0,229 =$	43
e) Calor sensible del aire de enfriamiento: $0,896 \text{ m}^3(\text{N}) \times 750^{\circ}\text{C} \times 0,3285 =$	221
TOTAL	778

TABLA IV

IV.—Balance térmico del precalentador.

	kcal/kg clinker
1. Calor que entra	
a) Gases de combustión: $0,250 \text{ m}^3(\text{N}) \times 750^\circ\text{C} \times 0,365 =$	68
b) Calor sensible del polvo que recircula: $0,25 \text{ kg} \times 750^\circ\text{C} \times 0,229 =$	43
c) Calor sensible del aire de enfriamiento: $0,896 \text{ m}^3(\text{N}) \times 750^\circ\text{C} \times 0,3285 =$	221
TOTAL	332
2. Calor que sale	
a) Calor sensible de los crudos: $1,0 \times 550^\circ\text{C} \times 0,220 =$	121
b) Calor sensible del polvo que recircula: $0,25 \times 550^\circ\text{C} \times 0,220 =$	30
c) Calor de deshidratación.	14
d) Calor de vaporización del agua de hidratación.	14
e) Pérdida por las paredes del precalentador.	43
f) Pérdida de calor sensible en los gases de escape.	110
TOTAL	332

Para la mejor comprensión de las tablas anteriores, consideramos necesario presentar algunas observaciones aclaratorias.

En la tabla II, al elegir $1,1 \text{ m}^3(\text{N})$ de aire de enfriamiento, su temperatura queda determinada, siendo precisamente 750°C (si hubiéramos tomado $0,9 \text{ m}^3(\text{N})$, la temperatura alcanzada por el aire habría sido de 900°C).

Con respecto a la tabla III, hemos de indicar que se ha admitido que el polvo que recircula constituye el 25 % del clinker producido. La cantidad teórica de aire de combustión es $222 \cdot 0,0010816 = 0,240 \text{ m}^3(\text{N})/\text{kg}$ de clinker, de los cuales $0,036 \text{ m}^3(\text{N})$ constituyen el aire primario y $0,204 \text{ m}^3(\text{N})$ el aire secundario. Del aire caliente procedente del enfriador, $1,100 \text{ m}^3(\text{N})$, se dispone de $0,896 \text{ m}^3(\text{N})$ como exceso. Puesto que la combustión del carbón pulverizado debe llevarse a cabo con un exceso de aire, será preciso introducir una parte de aquel exceso de aire en el horno; se introducen $0,109 \text{ m}^3(\text{N})/\text{kg}$ de clinker, con lo cual resulta que la combustión tiene lugar con un exceso de aire del 80 %. Además, quedan $0,706 \text{ m}^3(\text{N})$ de aire caliente (750°C) que se llevan al precalentador.

El balance térmico indicado en la tabla IV se refiere sólo a la parte de precalentador situada por encima de la entrada 7 del tubo 6; en dicha zona, el crudo se calienta hasta 550°C . En esta tabla puede observarse, claramente, que los gases de combustión propiamente dichos sólo introducen 68 kcal/kg clinker, es decir, el 20 % del calor total que se necesita en el precalentador.

La pérdida de calor sensible de los gases sensibles es de 110 kcal/kg clinker. El total de los gases de escape, húmedos, se compone de:

Gases de combustión, húmedos.	$0,250 \text{ m}^3(\text{N})/\text{kg}$ clinker
Vapor procedente del agua de hidratación.	$0,030 \text{ m}^3(\text{N})/\text{kg}$ clinker
Aire.	$0,896 \text{ m}^3(\text{N})/\text{kg}$ clinker
TOTAL	$1,176 \text{ m}^3(\text{N})/\text{kg}$ clinker

En comparación con los hornos rotatorios corrientes, la cantidad de gases de escape es, en este caso, extraordinariamente pequeña. La temperatura de estos gases es de 282° C.

Queda, de esta forma, tratado a fondo el tema. Queda, no obstante, todavía un punto interesante. Se trata del peligro que puede existir de que se produzca la hidratación y recarbonatación de la cal libre. Sin embargo, puesto que el gas del precalentador se compone de un 76 % de aire y de 4 % (en volumen) de vapor de agua, el peligro de hidratación es extraordinariamente pequeño. Lo mismo podemos decir para la recarbonatación, pues que dicho gas sólo contiene un 4 % de CO₂. La permanencia del crudo en el cambiador de calor es de quince segundos; de modo que en la zona de hidratación y recarbonatación sólo permanece cinco segundos. Vemos, pues, que por todos estos motivos queda extraordinariamente dificultada la reacción de las moléculas de agua y de carbónico con la cal libre.

Hemos de indicar, como nota final, que en el caso de emplear escorias pulverizadas el consumo total de calor sería de 560-600 kcal/kg clínker.

S. F. S.