

ESTUDIO SOBRE LA HIDRATACION DEL CLINQUER

Pablo KITTL*
Patricio LYON*
Sergio MONTES*
Ernesto CROQUEVIELLE*

RESUMEN

En el presente trabajo se hace un estudio sobre la hidratación del clínquer, la cual se determinó por pérdida de agua a 980°C. Se encontraron tres etapas: la primera muy rápida y poco dependiente del tamaño de partícula; la segunda en que se produce un aumento considerable del grado de hidratación, el cual es mayor a menor tamaño de grano, y la tercera, donde la hidratación aumenta linealmente con el tiempo con una pendiente independiente del tamaño del grano.

INTRODUCCION

Numerosos trabajos se han publicado en relación con el fenómeno de la hidratación del clínquer. Los estudios sobre este proceso se han realizado fundamentalmente mediante el uso de fases puras. En este sentido, Sylvan¹ encontró que la superficie específica de la muestra dependía en gran medida del tamaño del grano, mientras que la cantidad hidratada no acusaba la misma dependencia. Varios investigadores han obtenido diferentes resultados relacionados con la dependencia de la velocidad de hidratación con la razón agua-cemento. Las investigaciones llevadas a cabo por Sudoh y Mori²; Kantro, Weise y Brunauer³ mostraron que el grado de hidratación del C_3S y del C_2S a tiempos cortos, eran semejantes para razones agua-cemento comprendidas entre 0.3 y 0.7, en tanto que el grado de hidratación a tiempos mayores aumenta en forma proporcional a la razón agua-cemento.

*Investigadores de IDIEM.

Por su parte Tsumura y Kawachi⁴ demostraron que la velocidad de hidratación del C_3A se acelera con el incremento de la razón A/C, mientras que el C_4AF experimenta una aceleración al disminuir la razón A/C.

Diversos autores encontraron que los procesos de hidratación y disolución son térmicamente activados, pero esta energía de activación no es una constante sino que una función del grado de hidratación. Copeland y Kantro⁵, al examinar la cinética de hidratación del cemento portland, encontraron que la energía de activación no era una constante, sino que disminuía de 8 a 2,3 kcal/mol con el grado de hidratación; esto indica que este modelo es sólo aproximado y necesita ser revisado.

Kondo, Ueda y Kodama⁶ encontraron cinco etapas cinéticas en la hidratación del C_3S a partir de calores de hidratación. Ellas son las siguientes: una primera etapa muy rápida y corta al contactar el C_3S con el agua, una segunda etapa de relajación; una tercera etapa en que la velocidad de reacción experimenta una fuerte aceleración; una cuarta etapa en que la velocidad de reacción disminuye debido a que la mayor parte del sustrato ha reaccionado y finalmente una etapa en que la reacción experimenta una fuerte desaceleración haciéndose la hidratación prácticamente constante.

En el presente trabajo se hace un estudio de la influencia de alguno de los factores anteriormente mencionados sobre la hidratación del clínquer.

PARTE EXPERIMENTAL

1. En este trabajo se utilizó clínquer fabricado en la fábrica de Cemento Melón, en Calera. Este clínquer fue molido en el molino que posee el Instituto en su Planta de Cerrillos. Posteriormente fue tamizado usándose las fracciones comprendidas entre las mallas Nº 80-115 (0.175-0.124 mm); 150-250 (0.104-0.061 mm) y 250-325 (0.061-0.043 mm). Para el cálculo posterior se consideró como tamaño medio la mitad de la suma de los valores extremos.

La mezcla de clínquer-agua se hizo en una proporción de $A/C = 0.4$ la cual fue agitada durante 5 minutos. Posteriormente se colocó en tubos de vidrio de 1 cm de diámetro los que se introdujeron en un baño mantenido por termostato a $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$, manteniendo posición horizontal para evitar sedimentación.

Una vez cumplidos los tiempos experimentales se procedió a romper los tubos de vidrio moliendo la pasta hidratada en un mortero, lo más rápidamente posible. A continuación se pesó una cantidad de pasta molida para determinar la cantidad de agua evaporable. La determinación del agua evaporable se hizo de 2 formas:

- a) Para tiempos menores de 24 horas se efectuó la extracción del agua evaporable mediante un sistema de alto vacío y temperatura para obtener peso constante.

b) Para tiempos superiores a 24 horas se colocó en una estufa a 110°C por espacio de 1 hora hasta obtener peso constante.

Una vez que se obtuvo peso constante se colocó la muestra en una mufla de 950°C para eliminar el agua no evaporable, proceso que se detuvo al tenerse peso constante.

RESULTADOS

Se realizaron dos grupos de experiencias preliminares para estudiar el efecto del tiempo sobre la hidratación, a temperatura constante de 25°C . Para este fin se usaron muestras cuyos tamaños de grano estuvieron comprendidos entre 60-80 mallas y 250-400 mallas.

En vista de los resultados preliminares (Fig. 1) se decidió realizar un estudio sistemático del efecto del diámetro y del tiempo sobre la hidratación del clínquer, considerando que éste presenta una granulometría aproximadamente esférica.

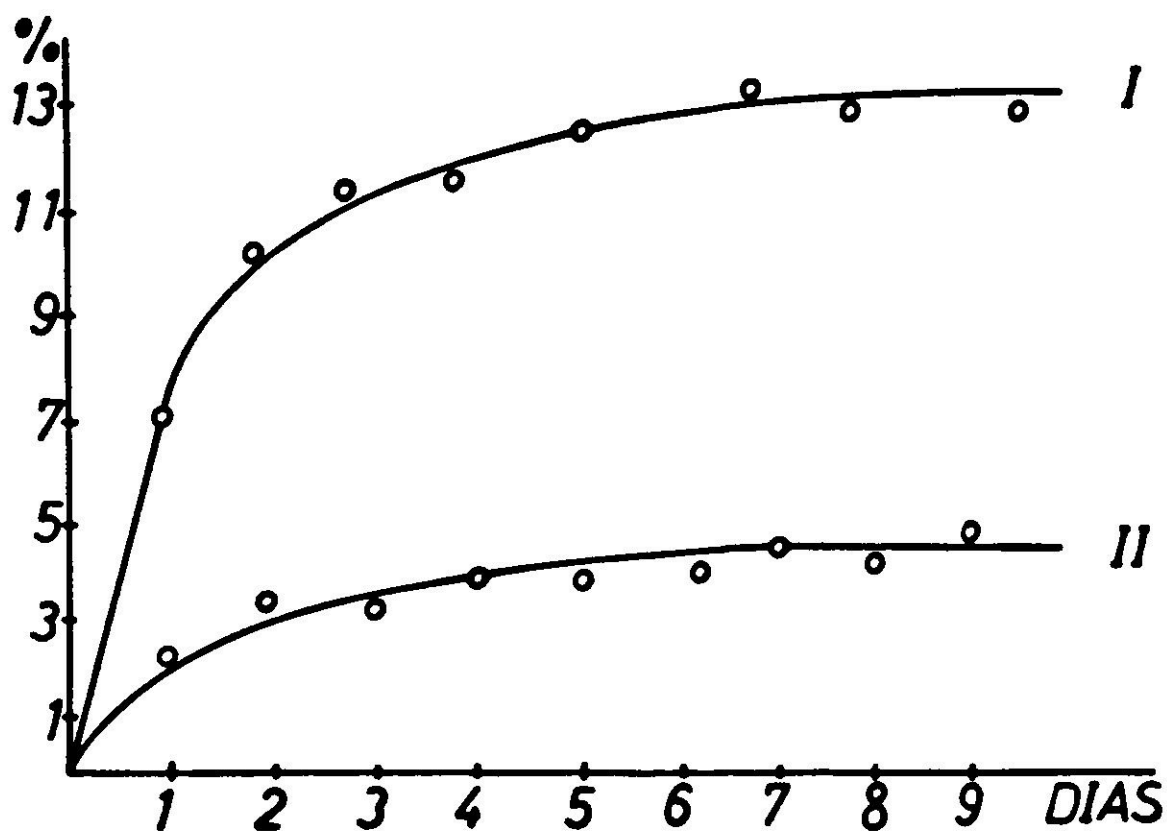


Fig. 1. Porcentaje de hidratación de clínqueres en función del tiempo. Resultados preliminares. Curva I, 250-400 mallas. Curva II, 60-80 mallas.

De las experiencias en los rangos comprendidos entre 80-115 mallas, 150-250 mallas y 250-325 mallas se obtuvieron los resultados graficados en la Fig. 2.

DISCUSION

De los datos experimentales es posible concluir que la hidratación del clínquer presenta varias etapas cinéticas diferentes durante el transcurso del tiempo.

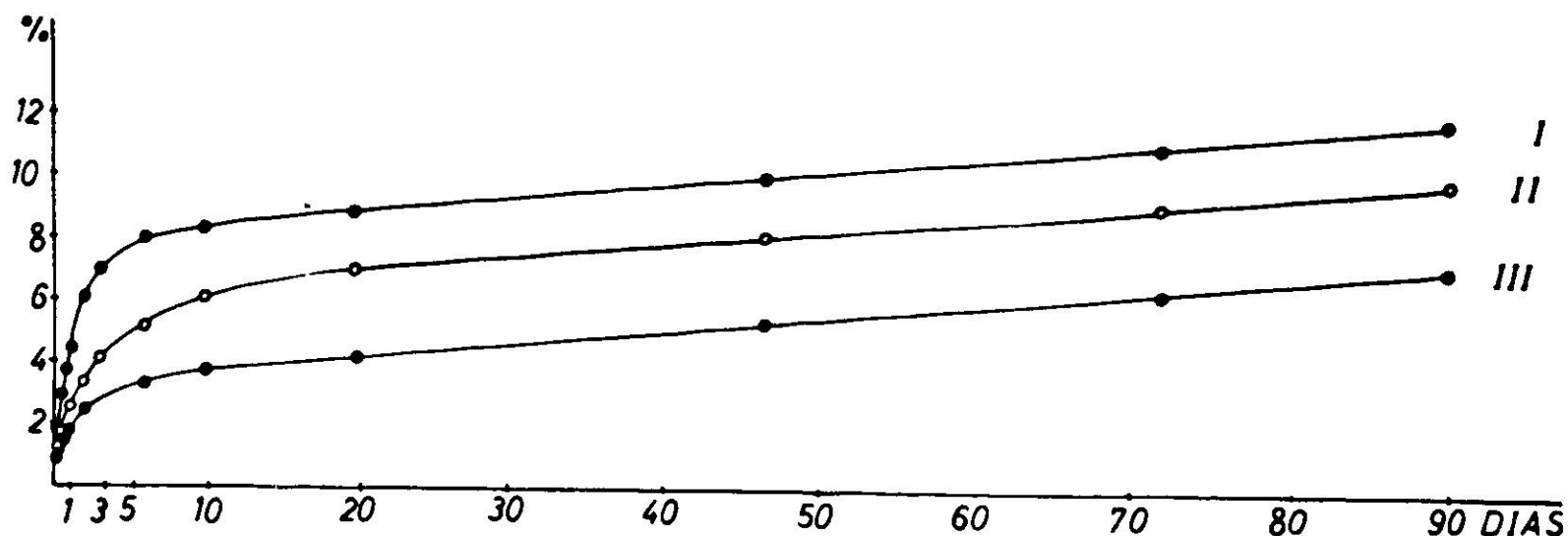


Fig. 2. Porcentaje de hidratación de clínqueres en función del tiempo. Curva I, 250-325 mallas. Curva II, 150-250 mallas. Curva III, 80-115 mallas.

El análisis de los datos experimentales graficados en la figura 2, muestra la existencia de tres etapas básicas en la reacción.

I Etapa

Esta etapa ocurre en el período comprendido entre 0 y 1 hora; en ella la hidratación es prácticamente instantánea, lo que hace difícil obtener valores reproducibles del grado de hidratación utilizando las técnicas señaladas en la parte experimental, siendo necesario afinar las técnicas experimentales para el estudio de este período.

II Etapa

En esta etapa se observa un aumento significativo del grado de hidratación con respecto al tiempo, observándose que a tiempo constante el grado de hidratación es mayor cuanto menor es el tamaño de partícula. Los datos experimentales muestran claramente que en cada grupo de experiencias, luego de un tiempo aproximadamente equivalente, la hidratación crece en forma lineal.

Según Kawada y Nemoto⁷ se puede considerar este período como una etapa de difusión, en que los cristales precipitados de portlandita, disminuyen su tamaño al participar en la formación del C-S-H. Este proceso continúa hasta que el espesor de la capa de tobermorita formada dificulta la difusión del agua retardando así el proceso de hidratación.

III Etapa

En esta tercera etapa se ha observado que el grado de hidratación aumenta linealmente con el tiempo, siendo una característica de la etapa que la velocidad con que esto ocurre es prácticamente independiente del tamaño de partícula. Sin embargo, para este aumento lineal no se encontró un modelo físico que diera cuenta del fenómeno.

Además se hicieron algunas experiencias para medir el grado máximo de hidratación alcanzado por el clínquer. Para esto se colocaron 5.00 gramos de clínquer en un exceso de agua, los que fueron sometidos a agitación constante. Al cabo de 10 días se procedió a medir el grado de hidratación, no obteniéndose para una misma muestra un valor constante, e incluso con muestras análogas se

obtuvieron valores que fluctuaban hasta en un 17%. La explicación podría residir en el hecho de que se formaron productos de hidratación diferentes o bien que las fases se encontraban en cantidades variables de muestra a muestra, a pesar que debería haber una distribución más o menos semejante para un mismo rango de mallas.

Los productos obtenidos anteriormente se sometieron a presión obteniéndose de esta forma una pastilla, carente de toda resistencia mecánica. Esto indicaría la ausencia de entrecruzamiento mecánico entre las fibras de tobermorita, lo que demostraría que la resistencia en el clínquer no se debe a fuerzas de van der Waals sino a entrecruzamiento mecánico^{8,9}.

Finalmente podemos agregar que para obtener conclusiones definitivas en especial en relación con la tercera etapa, es necesario obtener otros parámetros que permitan formular un modelo físico completo.

BIBLIOGRAFIA

1. SYLVAN, P. The granulometric composition of cement. *Zement-Kalk Gips*, n° 17, (1964), pp. 299-301.
2. SUDOH, G. y MORI The influence of the different amounts of mixing water and alkali on the hydration of C_3S . *Semento Gijutsu Nenpo*, n° 15, (1961), pp. 46-54.
3. KANTRO; WEISE, y BRUNAUER Paste Hydration of C_2S , C_3S and C_3A . *Symposium on structure of Portland cement paste and concrete*. Highway Research Board (1966), pp. 300-308
4. TSUMURA, y KAWACHI Hydration of C_3A and C_4AF . *Semento Gijutsu Nenpo*, n° 18, (1964), pp. 45-50.
5. TAYLOR, H.W. Editor. *The Chemistry of Cements*, vol. 1, Capítulo 8. Academic Press, Londres y Nueva York.
6. KONDO, R.; VEDA, S., y KODAMA, M. Reaction process of the hydration of C_3S . *Semento Gijutsu Nenpo*, n° 14, (1960), pp. 47-57.
7. KAWADA y NEMOTO. Hydration process of calcium silicates during 24 hours. *Semento Gijutsu Nenpo*, n° 15, (1961), pp. 42-46.
8. RICHARTZ, W. Acerca del desarrollo de la estructura y la resistencia de la pasta de cemento. *Materiales de construcción*, n° 140, (1970), pp. 63-68.
9. RICHARTZ, W. Acerca del desarrollo de la estructura y la resistencia de la pasta de cemento. *Materiales de construcción*, n° 141, (1971), pp. 47-52.

STUDY ABOUT THE HYDRATION OF CLINQUER

SUMMARY:

A study about the hydration of clinquer is done, which was determined by elimination of hydration water at 980°C. Three basic stages are found. A fast first stage independent of grain size; in the second stage a considerable increase of the degree of hydration is produced, which increases as the grain size decreases; in the last stage hydration degree increases linearly with time, at a rate independent of grain size.