

Interpretación textural de dos clínkeres de cemento portland de distinta velocidad de fraguado

ANGEL RODRIGUEZ REY
Departamento de Petrología
Universidad de Oviedo

RESUMEN

En el presente trabajo se ha realizado un estudio textural, mediante microscopía óptica de reflexión, de dos clínkeres industriales de cemento portland procedentes del mismo horno, que se diferenciaban por poseer velocidades de fraguado muy distintas. Se observó la existencia de marcadas diferencias mineralógicas-texturales entre ellos, debidas a sus distintas condiciones de enfriamiento, como se ha podido deducir de la interpretación genética de sus texturas.

SUMMARY

Two industrial portland cement clinkers from the same kiln, with different setting rates, were texturally characterized by reflected light microscopy. They showed remarkable mineralogic and textural differences which arised during their distinct cooling processes, according to the interpretation of their textures.

1. INTRODUCCION

Se ha realizado un estudio comparativo de la textura de dos clínkeres industriales de cemento portland procedentes del mismo horno –de vía seca– que presentan una marcada diferencia en su velocidad de fraguado, uno de fraguado normal, F.N., y otro de fraguado lento, F.L.

En la tabla I se recogen las características del fraguado de ambos clínkeres, así como las resistencias mecánicas de sus morteros normalizados, siendo estas últimas muy similares a pesar de las mencionadas diferencias en la velocidad de fraguado.

2. PREPARACION DE MUESTRAS

De ambos clínkeres se prepararon secciones pulidas aptas para su observación mediante microscopía de reflexión. Para ello se ha seguido, con escasas modificaciones, el procedimiento descrito en (1). Se puso especial cuidado en coger un número representativo de gránulos de cada una de las fracciones granulométricas establecidas previamente por el tamizado. Los gránulos, convenientemente desbastados y pulidos, se observarán por luz reflejada, sin atacar primero, y tras el ataque con etanol-agua (1 : 1) seguido del de una disolución al 1 % de CIH en etanol.

TABLA I
*Composición química de los dos clínkeres. Propiedades físicas de sus cementos,
y propiedades mecánicas de los morteros normalizados*

		CLINKER F.N.	CLINKER F.L.
Tiempo de fraguado (min) (aguja de vicat)	inicial	135	270
	final	210	350
Finura de molido. Residuo sobre tamiz (mallas/cm ²)	900	0,2 %	0,0 %
	4.900	1,6 %	0,2 %
Superficie espec. (cm ² /g)		3.041	3.320
Agua pasta cons. normal		24,0 %	25,4 %
Resistencias mecánicas (kp/cm ²) Compresión/Flexotracción	1 d.....	169/47	171/43
	3 d.....	373/61	314/67
	7 d.....	384/78	366/75
	28 d.....	499/86	511/80
<i>Composición química clínker (%)</i>			
Pérdida al fuego		0,5	0,3
Residuo insoluble		0,1	0,1
Oxido de Magnesio		2,9	3,2
Trióxido de Azufre.....		1,0	0,7
Dióxido de Silicio.....		20,3	20,9
Oxido de Aluminio		6,5	6,6
Oxido de Hierro		3,5	3,2
Oxido de Calcio		64,6	64,4
Cal libre.....		1,0	0,7

3. ANALISIS CUANTITATIVO

Se llevó a cabo utilizando un contador de puntos SWIFT, con saltos de 167 µm en recorridos horizontales distanciados en 400 µm, de forma que se superponía una red ortogonal a toda la sección de cada gránulo contado. Los datos obtenidos se expresan en la tabla II.

4. DESCRIPCIÓN TEXTURAL

4.1. Clínter F.N.

Coincidiendo con los datos del análisis modal, se observa una proporción relativamente baja de belita, siendo la porosidad también baja y la cal libre primaria escasa.

La distribución de las fases es bastante homogénea. La belita está uniformemente repartida en general (foto 1), aunque en algunos gránulos se observan pequeños nidos de este mineral; estos mismos gránulos poseen también pequeños nidos de cal libre (foto 2).

TABLA II
*Composición mineralógica de los dos
clínkeres estudiados, expresada
en porcentajes volumétricos*

	CLINKER F.N.	CLINKER F.L.
C ₃ S	49,2 ± 1,1	48,8 ± 0,6
C ₂ S	9,1 ± 0,7	14,9 ± 0,5
C ₃ A + C ₄ AF	17,7 ± 0,9	16,4 ± 0,5
Cal libre pr.	0,3 ± 0,1	0,6 ± 0,1
Poros	23,7 ± 1,0	19,4 ± 0,5
TOTAL	100	100,1

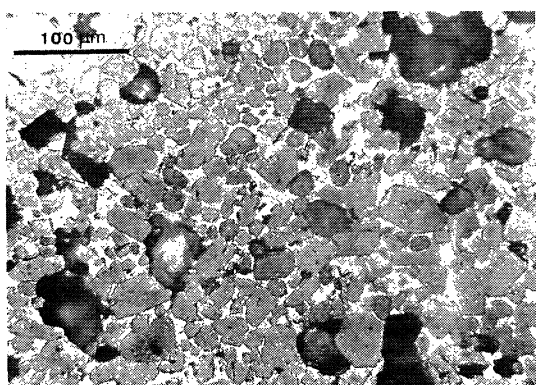


Foto 1.—Aspecto general del clinker F.N. La belita, en granos de pequeño tamaño, está homogéneamente repartida. Obsérvese el carácter heterogranular de la alita. (x 210).

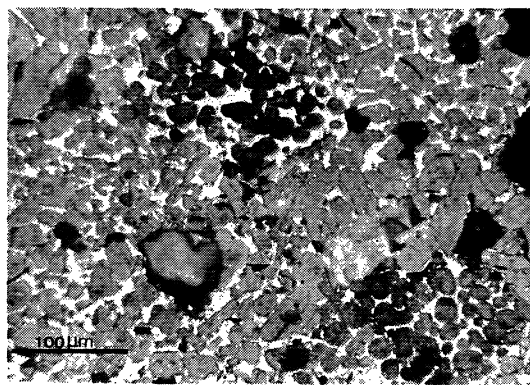


Foto 2.—Clinker de fraguado normal: dos pequeños nidos, uno de belita y otro de cal libre primaria, muy próximos entre sí. (x 210).

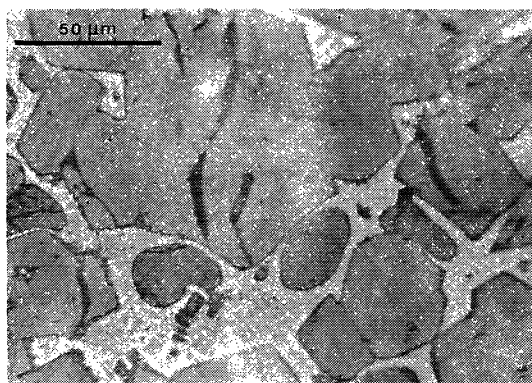


Foto 3.—Alitas en sineusis. En los ángulos superior derecho e inferior izquierdo, belita secundaria orlando a las alitas, que aparece también en la matriz. Los cristales de ferrito y de aluminato están poco desarrollados. Clinker F.N. (x 530).

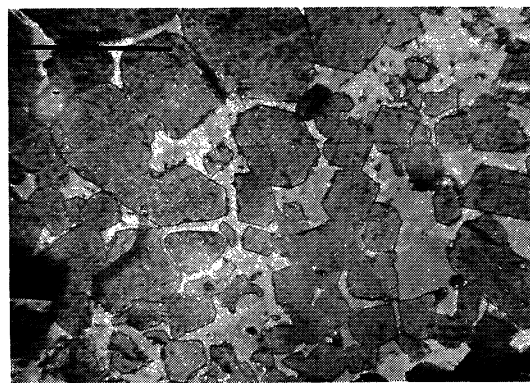


Foto 4.—Grandes placas de aluminato en la matriz del clinker de fraguado normal. También se observan pequeñas orlas de belita secundaria alrededor de algunos cristales de alita. (x 530).

La alita se presenta en cristales idiomórficos y subidiomórficos heterogranulares. Es frecuente que varios cristales crezcan juntos en sineusis (foto 3).

La belita aparece en cristales de forma redondeada con maclas polisintéticas cruzadas. En algunos gránulos se observa, no obstante, una incipiente transformación a belita lobulada. El tamaño de los cristales en sección pulida oscila entre las 10 y las 20 μm , situándose la media alrededor de las 15 μm . Aunque no es muy frecuente, en ciertos gránulos se observa, tanto incluida en la matriz como orlando a cristales de alita, cierta cantidad de belita secundaria que adopta en ocasiones formas dendríticas (foto 3).

La proporción de matriz es apenas inferior a la normal. Las fases que la constituyen presentan un desarrollo aceptable, aunque muy variable; en algunos gránulos, el aluminato forma grandes placas (foto 4).

4.2. Clinker F.L.

A diferencia del anterior, este clinker presenta una distribución heterogénea de las fases que lo constituyen. Son muy abundantes los nidos y aglomeraciones de belita, a veces de forma

irregular y de gran tamaño (hasta 1,5 mm de largo). También aparecen nidos de cal libre primaria, no siempre muy compactos, situados generalmente próximos a los de belita (foto 5). Por otra parte, tanto el contenido de ferrito y aluminato como la porosidad, son bajos.

La alita se presenta en cristales idiomórficos y subidiomórficos de tamaño muy variado, algunos de ellos muy corroídos (foto 6). Los más grandes aparecen generalmente intercrecidos en sineusis (foto 5). Los cristales subidiomórficos presentan rebordes de belita secundaria a veces de gran tamaño.

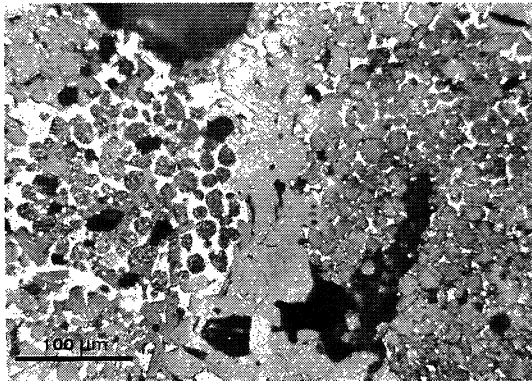


Foto 5.—Nido compacto de belita separado por una franja de grandes cristales de alita, de una concentración poco compacta de cal libre. Clinker F.L. (x 210).

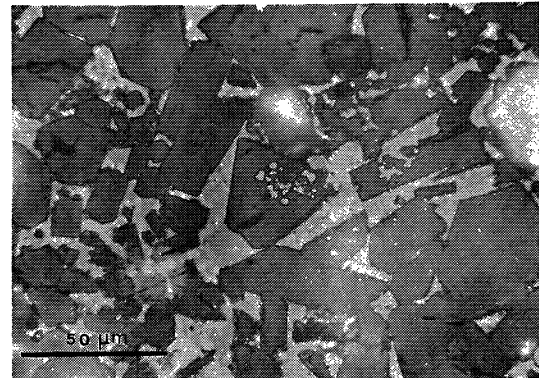


Foto 6.—Clinker F.L. Cristales de alita subidiomórficos corroídos. Obsérvese el gran desarrollo del ferrito y del aluminato. (x 530).

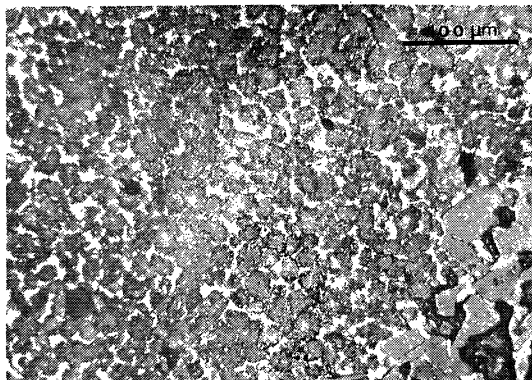


Foto 7.—Nido de belitas lobuladas en el clinker de fraguado lento. (x 210).

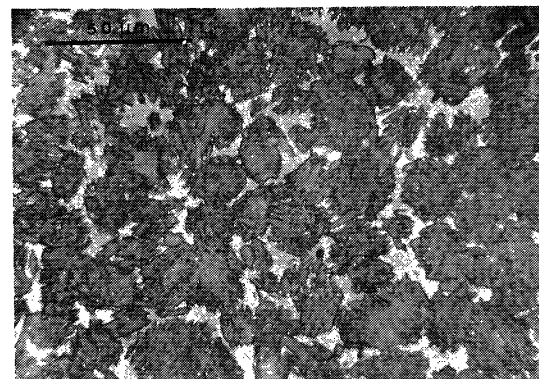


Foto 7a.—En detalle se observa la importante modificación que ha sufrido la belita primaria del clinker de fraguado lento, adoptando como consecuencia formas esqueléticas. (x 530).

La belita, más abundante que en el clinker de fraguado normal, aparece con formas anómalas. Por un lado, la de carácter primario se presenta en su mayor parte con formas y contornos lobulados (fotos 7 y 7a); son visibles todavía dos sistemas de maclas que se disponen entrecruzadas. Tal como se ha mencionado anteriormente, este mineral se dispone en aglomeraciones y nidos. Los cristales son más o menos de tamaño similar, situándose la media alrededor de las 15 μm. Por otra parte, hay gran cantidad de belita secundaria dendrítica procedente de la descomposición de la alita (fotos 8 y 8a); este tipo de belita exhibe formas dendríticas muy bien desarrolladas que se presentan, bien orlando a los cristales de alita a los que corroen, bien rodeados completamente por matriz.

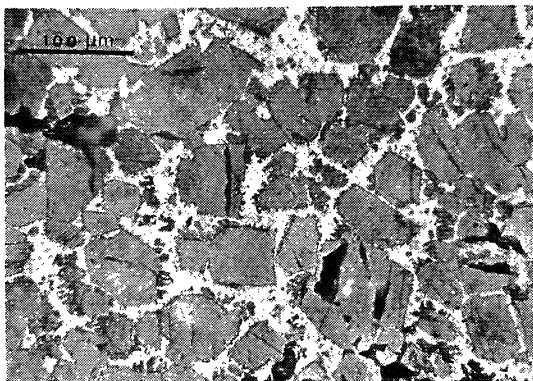


Foto 8.—Aspecto parcial de uno de los gránulos del clínker F.L., donde se observa gran cantidad de belita secundaria que corroe a los cristales de alita. (x 210).



Foto 8a.—Idem, detalle de las citadas belitas secundarias con formas dendríticas perfectamente desarrolladas. (x 530).

El desarrollo de los constituyentes de la matriz es variable, observándose en muchos casos grandes placas tanto de ferrito como de aluminato (foto 6).

5. INTERPRETACION TEXTURAL

Las condiciones de los procesos de preparación y de cocción del crudo del clínker de fraguado normal han sido apropiadas, aunque dado el tamaño, un poco pequeño de la belita; quizás el tiempo de permanencia en el horno haya sido algo escaso (2). El tamaño medio de la alita, de unas 30-35 μm , indica una velocidad de calentamiento correcta (2).

La molturación y la homogeneización del crudo son buenas, puesto que a pesar de ciertos nidos de belita y de cal libre primaria en algunos gránulos, la distribución de las fases es, por lo general, bastante homogénea.

El clínker de fraguado lento ha seguido un proceso de cocción similar. Sin embargo, la presencia de grandes y abundantes aglomeraciones y nidos de belita, además de algunos de cal libre, denota irregularidades en la molturación y la homogeneización del crudo.

Las diferencias entre ambos clínkeres se originan, principalmente, durante el enfriamiento. El de fraguado normal experimentó un enfriamiento correcto, aun cuando en algunos gránulos se observan indicios de belitas lobuladas o de belitas secundarias dendríticas. El de fraguado lento sufrió un enfriamiento anómalo que se refleja, sobre todo, en las características de la belita: la de carácter primario se presenta con formas típicamente lobuladas, resultado de la transformación de la belita primaria habitual en los clínkeres industriales, redondeada y con maclas polisintéticas cruzadas; esta transformación requiere tiempo y sólo es posible en clínkeres enfriados lentamente, tal como se menciona en (3). Hay, además, gran cantidad de belita secundaria dendrítica muy bien desarrollada que procede de la descomposición de la alita en un proceso lento por debajo de los 1.250° C, como se señala en (1).

6. CONCLUSIONES

- La observación microscópica ha puesto de manifiesto las diferencias mineralógico-texturales entre los dos clínkeres estudiados.

- De la interpretación genética de la textura, se deduce que estas diferencias se deben a las distintas características del enfriamiento experimentado por cada clínker, correcto el del F.N. y anormalmente lento el sufrido por el F.L.
- Dada la gran similitud en la composición química de ambos clínkeres y en las características de molido y amasado de sus pastas, es muy probable la influencia de estas diferencias mineralógico-texturales en el hecho de que los dos clínkeres presenten tan marcadas diferencias en el fraguado. Por otra parte, también puede contribuir a ello la diferencia en la composición mineralógica (más belita y menos alita en el clínker F.L.).

7. BIBLIOGRAFIA

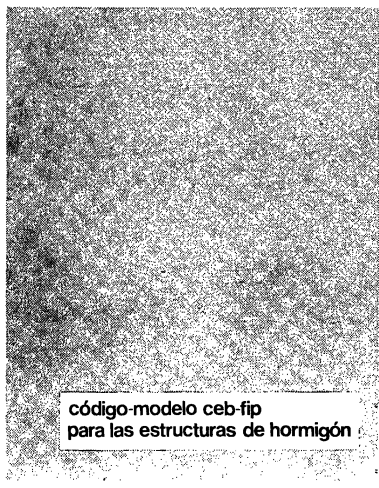
- (1) FERNANDEZ PARIS, J. M. (1968): "microscopía del clínker de cemento portland". Manuales y Normas del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento. Madrid.
- (2) ONO, Y. (1981): "Microscopical observation of clinker for the estimation of burning condition, grindability and hydraulic activity". Proceed. of the 3rd Int. Conf. on Cement Microscopy. Edited by G. R. Gouda. Texas. pp. 198-210.
- (3) GILLE, F., DREIZLER, I., GRADE, K., KRAMER, H. y WOERMANN, E. (1965): "Mikroskopie des Zementklinkers. Bilderatlas". Editado por la Agrupación Alemana de Fábricas de cemento. Beton- Verlag. Düsseldorf. (Suplemento, versión española de J. Calleja. IETcc., Madrid).

RECONOCIMIENTO

El autor desea expresar su sincero agradecimiento a D. Enrique Fernández Molina de la Scdad. Tudela-Veguín (Asturias), por la valiosa aportación de los datos que se recogen en la Tabla I.

* * *

publicación del i.e.t.c.c.



**código-modelo ceb-fip
para las estructuras de hormigón**

El Instituto Eduardo Torroja, miembro activo tanto del Comité Eurointernacional del Hormigón (CEB), como de la Federación Internacional del Pretensado (FIP), ha tomado a su cargo la traducción y edición de esta importante normativa.

Aunque presentado con el título de «Código Modelo CEB/FIP 1978» este documento incorpora los dos primeros volúmenes de este «Sistema Unificado Internacional de Reglamentación Técnica de Ingeniería Civil». El primer volumen de este «Sistema Unificado» es el denominado «Reglas comunes Unificadas para los diferentes tipos de obras y materiales», donde se exponen los criterios y formatos de seguridad a que han de ajustarse los diferentes Códigos (estructuras de hormigón, estructuras metálicas, estructuras mixtas, estructuras de albañilería y estructuras de madera), que han de configurar la totalidad del antedicho sistema.

El segundo volumen es propiamente el Código Modelo para las Estructuras de Hormigón. Fruto de la colaboración de dos asociaciones del prestigio del CEB y la FIP, desde mediados de los 60, incorpora los avances científicos y tecnológicos producidos en los últimos años sin detrimento alguno de la claridad y operatividad que deben presidir un código que pretende ser, ante todo, un auxiliar práctico para los técnicos de la construcción.

El Código sigue en su estructura las reglas más o menos clásicas: una primera parte dedicada a los datos generales para el cálculo (propiedades de los materiales, datos relativos al pretensado, tolerancias); en segundo lugar se presentan las reglas de proyecto estructural (acciones, solicitaciones, estados límites últimos y de utilización, reglas de detalle para el armado); y, por último, ejecución, mantenimiento y control de calidad.

También incluye reglas para estructuras con elementos prefabricados y estructuras de hormigón con áridos ligeros. Los Anejos del Código se refieren a: terminología, proyecto mediante la experimentación, resistencia al fuego, tecnología del hormigón, comportamiento en el tiempo del hormigón y fatiga.

Un volumen encuadernado en cartóné, de 21 x 30 cm, compuesto de 340 páginas, Madrid, mayo 1982.

Precios: España 2.500 ptas. Extranjero 50 \$USA