

611-75

# Cuestiones que plantea el empleo del cemento

Prof. Dr. J. CALLEJA

## RESUMEN

Se trata en esta exposición de dar una visión general y panorámica, más extensa que profunda, de las características más destacadas de los distintos conglomerantes hidráulicos, según las vigentes normas españolas.

Se trata también de relacionar dichas características con los principales problemas que surgen en la utilización práctica de los cementos, desde el punto de vista del fraguado, de las resistencias mecánicas, de la estabilidad —expansión y retracción— de la durabilidad del hormigón y de la corrosión de sus armaduras.

Como consecuencia de las relaciones que se establecen, se deducen en cada caso las condiciones y circunstancias más indicadas para el empleo de determinados cementos, así como las contraindicaciones para la utilización de otros.

## 1. INTRODUCCION

Se va a intentar dar en esta exposición una visión panorámica, más extensa que profunda, de los distintos aspectos que presenta el uso del cemento en la construcción en general y en las obras públicas. Algunos de estos aspectos llegan a constituir, a veces, verdaderos problemas.

El cemento del que vamos a tratar, como material *conglomerante* se emplea, en combinación con otros materiales, en la confección de *conglomerados*, tales como los *morteros* y *hormigones*; raras veces se utiliza sólo, amasado con agua y formando una *pasta pura*.

El hormigón, como caso más general de conglomerado pétreo artificial, es un material heterogéneo constituido por un componente activo, que es el conglomerante —generalmente un *cemento artificial*—; por unos componentes generalmente inactivos, aunque no siempre deban ser considerados como tales, que son los *áridos* —en las dosis convenientes y con las granulometrías adecuadas—; por otro componente activo que es el *agua*, la cual desarrolla la capacidad hidráulica del conglomerante y da al conjunto una determinada coherencia; y finalmente —y de forma eventual— por algún *aditivo*, llamado con expresión acertada el “cuarto componente del hormigón”. Es de tener en cuenta también, a efectos del comportamiento del hormigón frente a determinadas acciones y en ciertas circunstancias, el *aire incluido* en el material, bien de forma espontánea, o bien de modo deliberado y controlado —*aire ocluido*—.

El *agua* y el *cemento* forman una *pasta* con una consistencia apropiada que engloba y recubre a la fracción más fina del árido —la *arena*—, rellenando los huecos entre sus gránulos. El conjunto de pasta y arena constituye el *mortero*, el cual a su vez rodea a las fracciones más gruesas del árido —la *gravilla* y la *grava*—, rellenando los huecos entre ellas y dando trabazón a la masa resultante, que es el *hormigón fresco*.

El *fraguado* primero, y el *endurecimiento* después, de la pasta, son la causa de la trabazón del conjunto y de la conversión del hormigón fresco en el conglomerado pétreo que es el *hormigón fraguado y endurecido*, pero, en todo caso, *hormigón en masa*.

La evolución que en el tiempo ha experimentado este hormigón, tendente a conseguir cada vez mayores resistencias mecánicas con menores secciones, bien sea por motivos estéticos en unos casos, o bien por motivos económicos en otros, ha dado lugar a la alianza del material pétreo con un material metálico, el *acero*, resultando unos conglomerados aún más heterogéneos: el *hormigón armado* o el *hormigón pretensado*, en los que intervienen como quinto componente la *armadura*.

A todos los efectos de las propiedades y del comportamiento del hormigón tanto fraguado como endurecido, en masa, armado o pretensado, todos los componentes aislados mencionados: cemento, áridos, agua, aditivos eventuales, aire incluido u ocluido y armaduras, ejercen una influencia a veces decisiva; así como también la ejercen las características del producto final obtenido de ellos, es decir, del propio hormigón.

En lo que sigue se va a considerar, principalmente, la influencia del cemento, como material activo —activado por la acción del agua, en virtud de los procesos de *hidratación*—, en las propiedades y en el comportamiento de los hormigones.

## 2. CARACTERÍSTICAS DE LOS HORMIGONES Y DE LOS CEMENTOS

### 2.1. Características de los hormigones

El hormigón es un material tecnológico de construcción, del que se esperan, y al que se exigen, unas características determinadas. Se puede decir, en virtud de lo expuesto, que esas mismas características le son igualmente y necesariamente exigibles al cemento con el cual se va a hacer el hormigón.

Al hormigón se le pueden y se le deben imponer condiciones previas en cuanto a *resistencias mecánicas*, *estabilidad dimensional* y *durabilidad*.

Las *resistencias mecánicas* a tracción o a compresión —y generalmente estas últimas— suelen constituir el criterio principal y a veces el único para juzgar acerca de la calidad de un hormigón. Esta idea, mantenida a ultranza, es errónea, ya que, por el contrario, la resistencia es sólo una característica del material, aunque no la única, ni siempre la más importante.

La *estabilidad dimensional* del hormigón se establece en términos de su variación de volumen —positiva, aumentando; o negativa, disminuyendo— por efecto de una *expansión* o de una *retracción*, según los casos. La estabilidad de volumen es una característica del hormigón que sigue en importancia —y a veces precede— a las propias resistencias. La falta de estabilidad puede ser causa de *hinchamientos*, o de la aparición de *fisuras* y *grietas*, e incluso de la rotura y desintegración del hormigón. Por otra parte, la fisuración y el agrietamiento son circunstancias propicias para la *corrosión* y rotura de las armaduras, en el caso de los hormigones armados y pretensados.

La *durabilidad* del hormigón reside en un conjunto de circunstancias y de previsiones que hacen que el material conserve, en el medio en que se encuentre y al final de su vida útil prevista, un coeficiente de seguridad aún aceptable. Se puede definir también la durabilidad del hormigón como su capacidad de resistencia, a lo largo del tiempo, frente a agentes, ambientes y medios destructivos. La durabilidad depende, pues, de la interacción entre el medio ambiente y el propio hormigón. Esta interacción puede ser de naturaleza más bien *física*, como el efecto disruptor por expansión del agua, al convertirse en hielo en el interior del hormigón; o más bien *química*, como el efecto del agua del mar o de los terrenos yesíferos sobre los diques o cimentaciones; o incluso *electroquímica*, como los efectos de las corrientes vagabundas o de los electrolitos en cuanto a la corrosión de las armaduras. En general, la interacción suele ser de carácter mixto y puede calificarse de *fisicoquímica*.

En conclusión, el hormigón en masa, armado o pretensado, fabricado in situ o prefabricado en taller, es un material estructural cuya misión es resistir y durar —se podría decir que resistir durando o durar resistiendo—; así, pues, *resistencia mecánica* y *durabilidad* (incluyendo como factor de esta última la estabilidad dimensional) o *durabilidad* y *resistencia mecánica* —tanto monta— son, en plano de igualdad cuando menos, las dos características más destacadas del hormigón. De donde se deduce que para obtener hormigones resistentes y durables se deben emplear materiales primarios o componentes que a su vez lo sean en la medida necesaria. Esta condición la debe cumplir, en particular, el cemento. También es preciso que las proporciones de los materiales en el hormigón, esto es, la *dosificación*, así como la *ejecución*, sean las más adecuadas en todos los aspectos. Pero de estas facetas se tratará en otro momento.

## 2.2. Características de los cementos

### 2.2.1. Cementos en general

Reconocen las normas en general, y las españolas\* en particular, relativas a *conglomerantes hidráulicos*, dos grupos principales de éstos: el de los *cementos artificiales* y el de los *cementos naturales*. Sólo los primeros serán objeto de atención en lo que sigue.

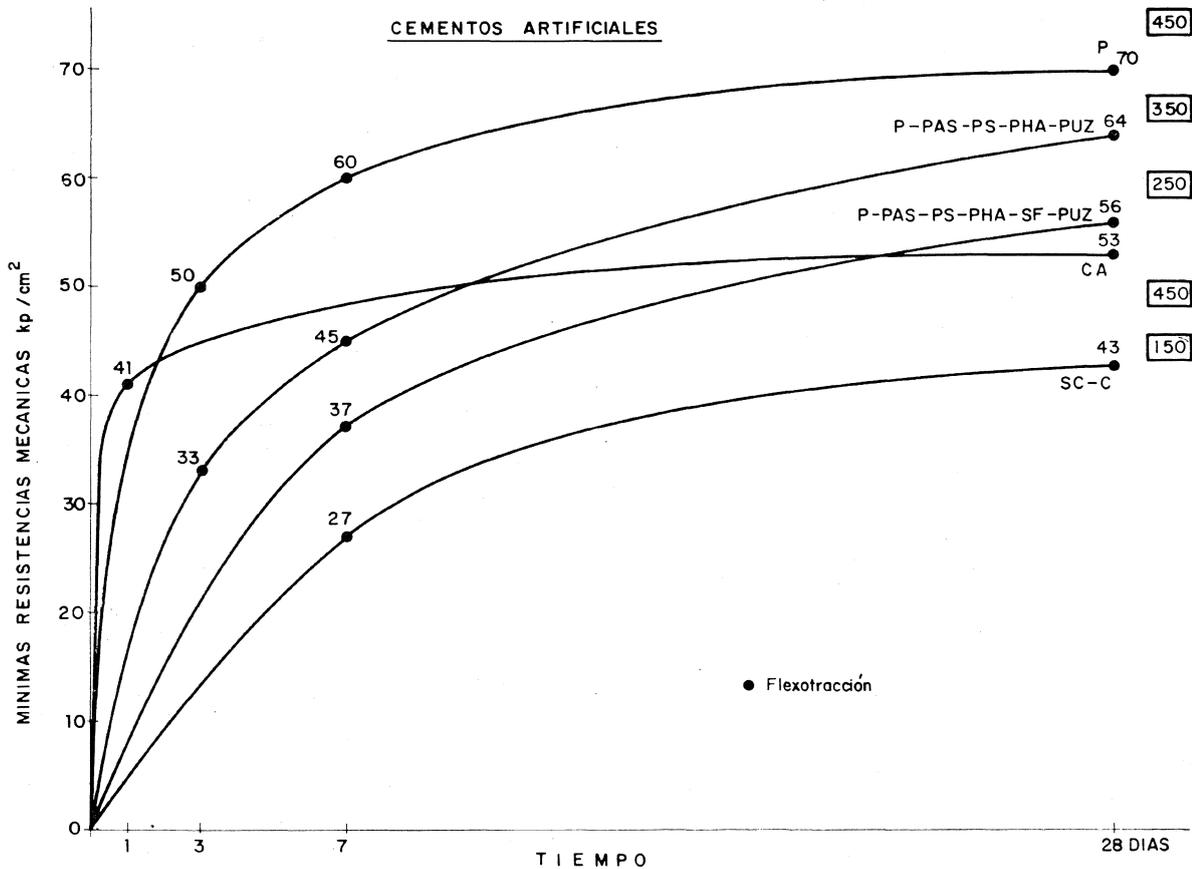
Los cementos artificiales que las normas españolas contemplan son de varios *tipos*, *clases* y *categorías* o *calidades*. Los tipos considerados son: *portland*, *siderúrgicos*, *puzolánicos*, *de adición* y *aluminosos*. Las clases son: dentro del tipo portland, el *portland corriente* o normal (P)\*\* y el *portland resistente a aguas selenitosas* (PAS); dentro del tipo siderúrgico, el *portland siderúrgico* (PS), el *portland de horno alto* (PHA) y el *siderúrgico sobresulfatado* (SF); y dentro de los de adición, el de *adición corriente* u ordinario (C) y el *siderúrgico-clínker* (SC). Los cementos de tipo puzolánico (PUZ) y aluminoso (CA) no se subdividen en clases.

Las categorías o calidades de todos estos cementos se establecen en función de sus resistencias mecánicas, y se fijan según la resistencia mínima a compresión exigida en mortero normal a la edad de 28 días. Estas categorías, de menor a mayor, son: 150, 250, 350 y 450. No todas estas calidades están representadas en todas las clases o tipos de ce-

\* PCH-64: Pliego de Condiciones para la Recepción de Conglomerantes Hidráulicos en Obras de Carácter Oficial. I.E.T.c.c., Madrid, 1964.

\*\* Entre paréntesis se indican las respectivas designaciones.

mento mencionadas. La distribución es la siguiente: 150 para C y SC; 250 para P, PAS, PS, PHA, SF y PUZ; 350 para P, PAS, PS, PHA, PUZ y CA; y 450 para P exclusivamente.



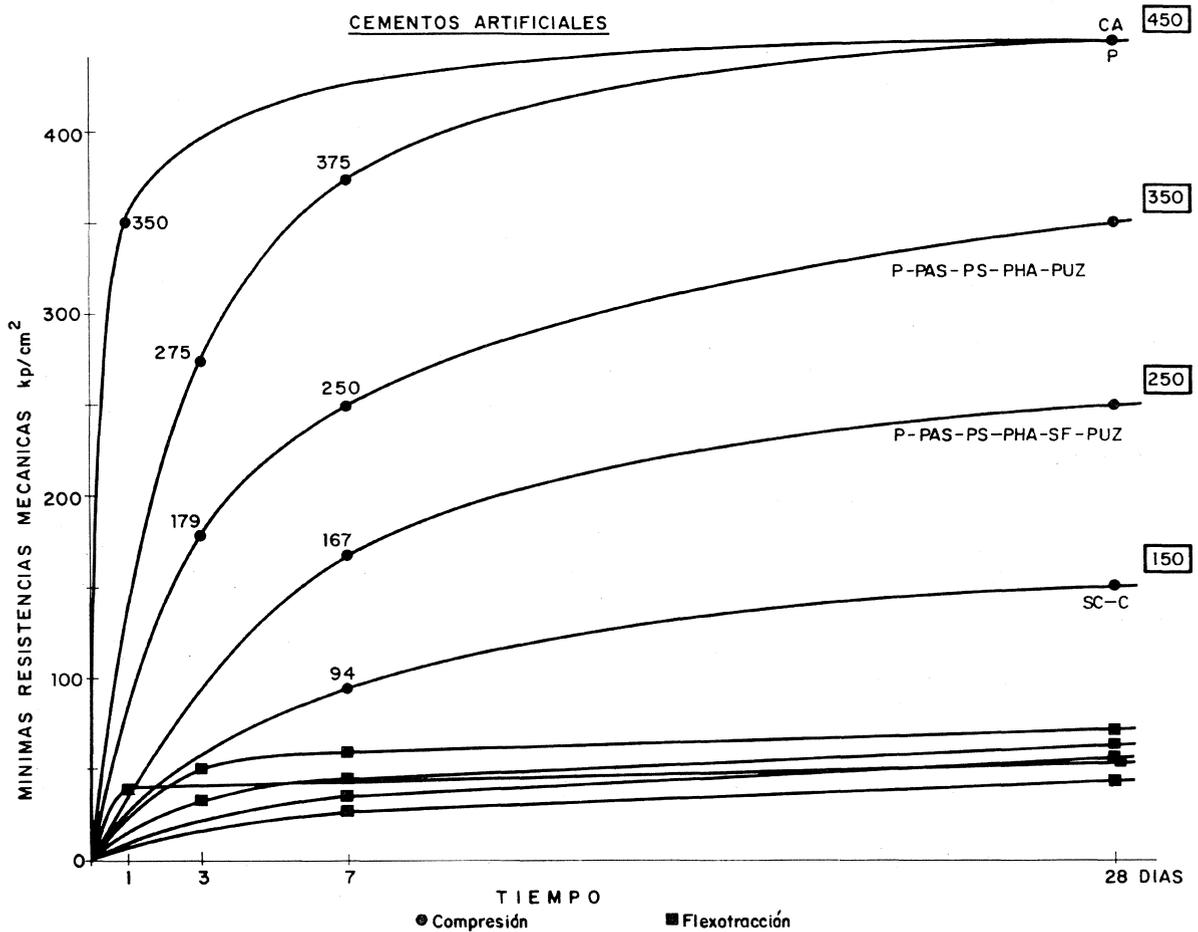
Comparados desde el punto de vista de la resistencia mecánica con los cementos encuadrados en las normas de otros países, los cementos de calidad 450 pueden asimilarse a cementos de *endurecimiento rápido* y/o de *altas resistencias iniciales*; los de calidad 350, a los de *endurecimiento normal*; los de calidad 250, a los de *endurecimiento lento*; y los de calidad 150, a los de *endurecimiento muy lento*.

### 2.2.2. Cementos portland

Los cementos portland, constituidos exclusivamente a base de *clínker* (con una pequeña proporción —muy poco variable de unos a otros— de retardador, que generalmente es una de las formas de sulfato cálcico, o una mezcla de ellas), deben sus propiedades y su comportamiento, tanto en cuanto a resistencias como en cuanto a estabilidad y a durabilidad, a la *constitución química* del clínker y a la *finura de molido*.

Los constituyentes del clínker, creados en los hornos de las fábricas de cemento a partir de los componentes de las materias primas calizas y arcillosas (sílice, alúmina, óxido férrico, cal, magnesia y álcalis, principalmente), son los *silicatos*, *aluminatos* y *ferritos cálcicos*, la *cal libre* (no combinada) y los compuestos *magnésicos* y *alcalinos*.

Los silicatos son dos, el *tricálcico* y el *bicálcico*, que se designan respectivamente por  $SC_3$  y  $SC_2$ ; el aluminato es sólo uno, en general; el *tricálcico*, que se designa por  $AC_3$ ; y el ferrito es también uno sólo, en general, aunque en realidad es un *ferrito-aluminato*: el *tetracálcico*, que se designa por  $FAC_4$ .



Las proporciones medias relativas de estos constituyentes del clinker suelen ser:

### CLINKER

Silicatos %	75	Tricálcico $SC_3$ %	50
		Bicálcico $SC_2$ %	25
Aluminatos y Ferritos %	20	Aluminatos $AC_3$ %	10
		Ferritos $FAC_4$ %	10
Resto %	5	Resto %	5
<b>TOTAL %</b>	<b>100</b>		<b>100</b>

En el resto se incluyen la cal libre, la magnesia y los compuestos alcalinos, principalmente, en proporciones que suelen ser:

Resto %	5	Cal libre %	1
		Magnesia %	2
		Compuestos alcalinos %	2
<hr/>			
TOTAL %	5		5

Los campos de variación de estos constituyentes suelen ser:

Silicato tricálcico:	de 30 a 60 %
Silicato bicálcico:	de 20 a 40 %
Aluminato tricálcico:	de 0 a 15 %
Ferrito-aluminato tetracálcico:	de 0 a 20 %
Cal libre:	de 0 a 2 %
Magnesia:	de 1 a 4 %
Compuestos alcalinos:	de 0,5 a 2,5 %

El cemento portland esta formado, en promedio, por 95 % de clínker y 5 % de retardador (yeso dihidrato y/o hemihidrato y/o anhidrita), de tal manera que su constitución se puede definir así:

### **CEMENTO PORTLAND**

Clínker %	95	Silicatos %	71,25 ~ 70	Tricálcico %	47,50 ~ 45
				Bicálcico %	23,75 ~ 25
		Aluminatos y Ferritos %	19,00 ~ 20	Aluminatos %	9,50 ~ 10
				Ferritos %	9,50 ~ 10
		Resto %	4,75 ~ 5	Cal libre %	0,95 ~ 1
				Magnesia %	1,90 ~ 2
				Alcalis %	1,90 ~ 2
Sulfato cálcico %	5		5,00 = 5		5,00 = 5
<hr/>					
TOTAL:	100		100,00 100		100,00 100

La hidratación del cemento, es decir, su reacción y combinación con el agua, da lugar a los procesos sucesivos del *fraguado* y del *endurecimiento*, en los que se producen las acciones y los efectos, tanto favorables como desfavorables, desde el punto de vista tecnológico del empleo del conglomerante. Pero la hidratación del cemento es la suma o resultante de las hidrataciones individuales de sus constituyentes. Estas hidrataciones transcurren con las siguientes características:

#### **Silicato tricálcico $SC_3$**

Desarrolla gran cantidad de calor, (*calor de hidratación*) así como elevadas resistencias a corto plazo, y libera abundante cantidad de cal (*cal de hidrólisis*).

Por la primera circunstancia, los cementos ricos en silicato tricálcico —del orden del 45 % al 60 %— desprenden gran cantidad de calor. En consecuencia, particularmente cuando se emplean con dosificaciones altas —superiores a 300 kg/m<sup>3</sup>—, o en grandes masas de hormigón con pequeña relación de superficie a volumen, esas masas de hormigón se calientan demasiado y, sometidas a un choque térmico por enfriamiento —por ejemplo durante el transcurso de una noche fría—, se pueden contraer dando lugar a *fisuraciones* y *agrietamientos* por causa de una *retracción térmica*. Por otra parte, el fuerte calentamiento de los hormigones provoca en ellos una autodesecación, si no se evita con un curado húmedo adecuado. La desecación puede producir una *retracción hidráulica* que, sumada a la térmica puede intensificar la fisuración y el agrietamiento. Por estas razones los cementos ricos en silicato tricálcico no se suelen emplear en el hormigonado de presas. Por el contrario, las normas de cemento suelen limitar el contenido de silicato tricálcico de los cementos portland destinados a tal empleo. Concretamente las normas españolas actuales lo limitan a un máximo de 35 % para el P-350, sobreentendiéndose que tal limitación ya excluye a los cementos portland de categoría superior P-450.

En cuanto a las resistencias elevadas a corto plazo, los cementos con alto contenido de silicato tricálcico —del orden del 50 al 60 %— forman parte de los llamados de *endurecimiento rápido* o de *altas resistencias iniciales*, los cuales son aptos para la *prefabricación* en hormigón, y para aquellas obras y estructuras que requieren un *descimbrado* o un *desencofrado rápidos*.

En lo relativo a la abundante cal liberada en la hidratación del silicato tricálcico, esta cal es sensible al ataque y disolución por aguas ácidas, puras y carbónicas agresivas. Por este motivo, la durabilidad —en este caso resistencia química— de los hormigones hechos con cementos ricos en silicato tricálcico y que hayan de encontrarse en ambientes sumergidos, o en contacto intermitente con tales aguas, máxime si fluyen y se renuevan, ha de ser lógicamente menor que la de los mismos hormigones hechos con cementos de contenido en silicato tricálcico menor. En contrapartida, esa abundante cal liberada en la hidratación confiere a los hormigones un alto grado de *basicidad* (pH 12-13) o alcalinidad, así como una gran *reserva alcalina*, circunstancias que son favorables para evitar o retardar la corrosión de las armaduras en el caso de los hormigones armados y pretensados. En consecuencia, para estos últimos es aconsejable utilizar cementos de alto contenido de silicato tricálcico, aparte de las razones de índole resistente.

Como se ve por lo expuesto, hay una especie de incompatibilidad entre las resistencias elevadas —particularmente a plazos cortos— y la acción protectora sobre las armaduras, por una parte, y la retracción —fisuración y agrietamiento— y la durabilidad frente a aguas puras, carbónicas y ácidas, por otra parte. En cada caso habrá que elegir cementos de alto o de bajo contenido de silicato tricálcico, según la circunstancia predominante. Llevado al terreno práctico de las normas españolas para cemento, quiere esto decir que habrá que optar por el empleo de un cemento P-450 (de contenido elevado de SC<sub>3</sub>) o de un P-350 (de contenido medio de SC<sub>3</sub>), o incluso de un P-250 (de bajo contenido de SC<sub>3</sub>), según el tipo de hormigón y obra: el P-450 está indicado para prefabricación y pretensado, así como para hormigonar en tiempo o climas fríos; el P-350 para hormigón estructural y el P-250 para trabajos de albañilería\*.

\* Un ejemplo aleccionador a este respecto lo da el caso de un constructor que dispuso el empleo de un cemento P-250 para mortero de junta de ladrillos en un muro de fábrica. Por circunstancias que no son del caso la obra se realizó con un cemento P-450, de resistencias mucho más elevadas a cualquier plazo. Al poco tiempo el muro se rajó de arriba abajo por retracción en varios sitios. No siempre lo mejor (¿mejor, para qué?) es bueno.

## Silicato bicálcico $SC_2$

Desarrolla mucho menos calor de hidratación que el tricálcico, libera bastante menor cantidad de cal, y da menores resistencias mecánicas a corto plazo, aun cuando las resistencias a plazos más largos son casi tan elevadas como las que proporciona el silicato tricálcico. Es el constituyente principal de los cementos portland llamados de *endurecimiento lento*.

Por otra parte, en el cemento portland los silicatos tricálcico y bicálcico se pueden considerar como valores o parámetros conjugados, cuya suma es constante —aproximadamente el 70 % de la composición del cemento—, de tal manera que el aumento de uno implica la correspondiente disminución del otro.

Así se comprende que las indicaciones y contraindicaciones de empleo de los cementos ricos en  $SC_3$  (60 %) —o pobres en  $SC_2$  (20 %)— y pobres en  $SC_3$  (30 %) —o ricos en  $SC_2$  (40 %)— se entrecrucen, deduciéndose de ello las correspondientes consecuencias prácticas en cada caso:

### CEMENTOS PORTLAND

Ricos en $SC_3$ : 60 % (Pobres en $SC_2$ : 20 %)	Pobres en $SC_3$ : 30 % (Ricos en $SC_2$ : 40 %)
+ más resistentes	— menos protectores (de armaduras)
— más fisurables	+ menos atacables
— más atacables	+ menos fisurables
+ más protectores (de armaduras)	— menos resistentes

## Aluminato tricálcico $AC_3$

Posee una gran velocidad de hidratación, en la cual desarrolla mucho calor —es el constituyente que más calor desprende—, colabora moderadamente a las resistencias a muy corto plazo, y no libera cal en su hidratación, sino que, por el contrario, fija en una cierta proporción la cal liberada por los dos silicatos. Es muy sensible a los sulfatos en general —aguas selenitosas y terrenos yesíferos—, con los que reacciona dando lugar a productos expansivos que provocan la destrucción del hormigón. Es el constituyente causante del *fraguado rápido* del cemento, y el que exige, por lo tanto, que se añada yeso —en general una o varias formas de sulfato cálcico— al cemento, para retardar, regular y normalizar el fraguado.

El aluminato tricálcico abunda más en los *cementos portland blancos* que en los grises, y su hidratación normal, o en presencia de insuficiente cantidad de yeso, tiene *carácter retractivo*; por el contrario, con exceso de yeso puede tener *carácter expansivo* diferido.

En resumen, las características más destacadas del  $AC_3$  son su gran calor de hidratación, su tendencia a la retracción —en parte de tipo térmico— o a la expansión, según las circunstancias, y su debilidad frente a eventuales ataques químicos por sulfatos en general y por los medios y ambientes que los contienen —aguas y terrenos selenitosos, agua de mar, etc.—.

Por lo tanto, los cementos ricos en  $AC_3$  no se deberán emplear en obras, estructuras o elementos de hormigón que hayan de estar en contacto con tales medios. Por el contrario, en semejantes casos se deben emplear cementos de bajo contenido de  $AC_3$ , llamados *resistentes a aguas selenitosas* —cementos tipo portland, clase PAS—, para los que las normas españolas estipulan un contenido máximo admisible de aluminato tricálcico del 5 por ciento\*.

#### Ferrito-aluminato tetracálcico $FAC_4$

Se caracteriza por una lenta velocidad de hidratación, en la que desarrolla poco calor, por una escasísima contribución a las resistencias a cualquier edad, y por una buena durabilidad frente a los ataques químicos de los sulfatos.

Sus características se contraponen, en cierto modo, a las del aluminato tricálcico. El  $FAC_4$  escasea o prácticamente no existe en los *cementos portland blancos* y, por el contrario, abunda en los cementos portland llamados de *tipo férrico*, en los llamados cementos de *moderado* o de *bajo calor de hidratación*, en los cementos resistentes o moderadamente *resistentes a sulfatos*, y en los *cementos fríos*, si al mismo tiempo son ricos en  $SC_2$  y pobres en  $SC_3$  (véase  $SC_2$ ).

Así como los dos silicatos eran constituyentes conjugados, cuya suma de tantos por ciento se puede considerar como aproximadamente constante, lo mismo sucede con el  $AC_3$  y el  $FAC_4$  —cuya suma asciende aproximadamente al 20 % de la composición total del cemento—, de modo que un alto valor de uno de ellos lleva aparejado un valor bajo del otro.

Esto explica el hecho de que las indicaciones y contraindicaciones de empleo de los cementos ricos en  $AC_3$  (15 %) —o pobres en  $FAC_4$  (5 %)— y pobres en  $AC_3$  (5 %) —o ricos en  $FAC_4$  (20 %)— también se entrecruzan, de lo cual se derivan conclusiones de tipo práctico, según los casos:

#### CEMENTOS PORTLAND

Ricos en $AC_3$ : 15 % (Pobres en $FAC_4$ : 5 %)	Pobres en $AC_3$ : 5 % (Ricos en $FAC_4$ : 20 %)
— más atacables	± Menor calor de hidratación
— mayor retracción	+ menor retracción
± mayor calor de hidratación	+ menos atacables

Los cementos ricos en  $FAC_4$  —y simultáneamente en  $SC_2$ — son aptos para hormigonar en épocas o en climas muy cálidos, o para ejecutar obras con grandes masas de hormigón, tales como las presas. Los cementos considerados en las normas españolas como “de bajo calor de hidratación” son los que desprenden un calor no superior a las 65 calorías/gramo a los 7 días, ni superior a las 75 calorías/gramo a los 28 días.

Los cementos ricos en  $FAC_4$  son los típicos portland resistentes a aguas selenitosas —clase PAS—, con menos de 5 % de  $AC_3$  según las normas españolas, y que confieren mayor durabilidad a los hormigones en medios yesíferos.

\* No hay que olvidar que la “España yesífera” es la mitad oriental de la “España peninsular”, según el meridiano de Madrid.

## Cal libre

La cal libre es un constituyente frecuente pero no normal del cemento portland. Su existencia es debida a un defecto de fabricación que puede atribuirse a diversas causas.

La hidratación de la cal libre es expansiva, pudiendo dar lugar a cuarteamientos superficiales del hormigón, e incluso al debilitamiento y destrucción de éste.

Como la cal liberada en la hidratación de los silicatos, la cal libre hidratada es atacable por las aguas puras, ácidas y carbonatadas.

Por los hechos expuestos, los cementos con abundante cal libre, ni son estables ni son durables. En otro aspecto, la cal libre, junto con la cedida por los silicatos, eleva la basicidad de los hormigones y aumenta su reserva alcalina, con lo que contribuye a la protección de las armaduras contra la corrosión.

No existe en las normas españolas para cemento prescripciones limitativas de la cal libre, aunque sí método para determinarla.

## Magnesia

La magnesia, como la cal libre, puede ser expansiva, aunque a muy largo plazo. En tales condiciones la expansión del cemento debida a la magnesia es muy nociva por sus efectos. Las normas españolas fijan el máximo admisible de magnesia de los cementos portland en un 5 por ciento.

Las normas españolas han adoptado un método para el ensayo de expansión de los cementos. Es el ensayo ASTM llamado de *expansión en autoclave*, y la limitación que según él se impone a la expansión es el 1 %. El método de expansión en autoclave determina la expansión por todos los conceptos: aluminatos, cal libre y magnesia, si bien se concibió para poner de manifiesto la expansión lenta y retardada de esta última. Es un método drástico, cuyas condiciones se apartan mucho de las de la realidad. Exige muy buen criterio, a la hora de interpretar y valorar sus resultados. Por de pronto, los resultados del ensayo de autoclave no guardan relación con los de otros métodos de determinar la expansión, como pueden ser el de las galletas hervidas o el de las agujas Le Chatelier. Tampoco guardan relación siempre con el comportamiento —expansivo o no— de los cementos en la práctica. Se ha pensado y dicho durante mucho tiempo que, en todo caso, los resultados del ensayo de autoclave tienen la virtud de situarse siempre “del lado de la seguridad”. Es decir, que si un cemento no resulta ser expansivo según el ensayo del autoclave, se puede garantizar que no lo será en ninguna circunstancia; mientras que si según dicho ensayo el cemento resulta expansivo, en la práctica podrá serlo o no. Pues bien, ésto no es absolutamente cierto. No lo es, en cuanto se trate de cementos siderúrgicos, puzolánicos o de adición; y tampoco lo es en cuanto se trate de cementos portland “con adiciones”.

El hecho es que las adiciones “declaradas” —escorias de los siderúrgicos, puzolanas de los puzolánicos y cualesquiera otras de los de adición—, así como las “no declaradas” de los *cementos portland comerciales*, en las condiciones del autoclave dan lugar, por efecto silícico, a una reacción de tipo puzolánico que fija la cal libre de forma no expansiva. Pero ese efecto no puede tener lugar en las condiciones reales de la práctica, por lo que un cemento con abundante cal libre puede no ser expansivo según el ensayo del autoclave y serlo en cambio en la realidad.

## Compuestos alcalinos

Los álcalis del cemento se encuentran, o bien combinados con el  $SC_2$  y el  $AC_3$ , o bien en forma de sulfatos —sulfato potásico y sulfato sódico—.

Los álcalis influyen negativamente en un aspecto determinado de la durabilidad, que se conoce con el nombre de *reacción árido-álcalis*. En efecto, hay un grupo de áridos de naturaleza silícica, constituidos en parte por sílice hidratada amorfa, como los ópalos, las calcedonias, etc., y en general los agregados y rocas que contienen minerales de ese tipo, que reaccionan con los álcalis de los cementos dando lugar a compuestos y a efectos expansivos que perjudican la adherencia árido-pasta y debilitan al hormigón.

Con tales áridos, cuando no hay más remedio que emplearlos, no se deben utilizar cementos con un contenido elevado de álcalis. Por el contrario se deben utilizar los cementos designados en las normas españolas como *cementos de bajo contenido de álcalis*, en los que el tanto por ciento de óxidos sódico y potásico, expresados en conjunto como óxido sódico, no debe pasar de 0,6.

### 2.2.2.1. El yeso del cemento portland

Al tratar del  $AC_3$  del clínker se ha indicado que su rápida velocidad de hidratación obliga a añadir al clínker una o varias formas de sulfato cálcico que actúa como regulador del fraguado, retardándolo.

CONSTITUYENTES DEL CEMENTO PORTLAND	CARACTERISTICAS DEL HORMIGON							
	es →	Resistencia	Expansión	Retracción	Fisuración	Durabilidad	Corrosión de armaduras	Calor de hidratación
	α ↓	(+)	(-)	(-)	(-)	(+)	(-)	( $\bar{+}$ )
$SC_3$	>	-	>	>	<	<	>	
$SC_2$	<	-	<	<	>	>	<	
$AC_3$	>	>	>	>	<	-	>	
$FAC_4$	<	<	<	<	>	-	<	
CaO l.	<	>	<	<	<	<	>	
MgO	<	>	<	<	<	-	<	
Alcalis	<	>	-	-	<	≈	<	
Yeso	>	>	<	<	≈	-	<	
Finura	>	<	>	>	<	>	>	

La variedad de sulfato cálcico que generalmente se añade es *piedra de yeso natural* —*yeso crudo* o *yeso dihidrato*—, y la forma en que se hace es incorporándolo a los molinos del clínker en las fábricas de cemento.

Cada clínker, según su composición —particularmente según sus contenidos de  $AC_3$  y de *álcalis*— y según la *finura* que se le quiera dar al cemento resultante, requiere un óptimo de yeso para que este cemento presente las mejores características en cuanto a resistencias, estabilidad y durabilidad. Ese óptimo es tanto mayor cuanto mayor es el contenido de  $AC_3$  y de álcalis, y mayor la finura.

Sucede con frecuencia que durante la molienda del clínker con el yeso se eleva la temperatura en los molinos de cemento, de modo que el yeso crudo añadido se deshidrata en parte y se convierte en *yeso cocido* o *yeso hemihidrato*.

Cuando esto sucede y el cemento se amasa, se observa un entumecimiento o rigidización pasajera de la pasta, que desaparece al seguir amasando. Este hecho se conoce con el nombre de *falso fraguado*, y nada tiene que ver con el fraguado rápido del cemento, sino que es debido al propio fraguado del yeso cocido que se ha formado en el molino a partir del yeso crudo.

El falso fraguado no influye, en general, en las resistencias a cualquier plazo, ni en las demás características del cemento; tan sólo exige un amasado más prolongado o enérgico para romper la momentánea rigidez adquirida por la pasta.

Pero cuando el falso fraguado se produce en una masa de hormigón, la tendencia del que lo elabora es a deshacer los efectos añadiendo más agua a la masa para aumentar su fluidez. Y comoquiera que ésta se recupera después casi en su totalidad, sin más que batir más la masa y sin necesidad de añadir más agua, resulta al final un hormigón mucho más fluido, pero en todo caso con una *relación agua/cemento* bastante más elevada que la prevista; es decir, un hormigón de peor calidad: menos resistente, más heterogéneo, menos compacto y, por lo tanto, más poroso y permeable, y menos duradero.

El falso fraguado y sus efectos son particularmente perniciosos cuando se trata de hormigón preparado en central hormigonera y transportado a distancia en camiones-cuba, en especial en estaciones y climas calurosos donde la desecación es más intensa y rápida. También entonces es mayor el peligro de abuso de añadir agua en exceso al hormigón.

Las normas españolas establecen un máximo tolerable de adición de yeso al clínker —o de contenido de yeso en los cementos portland— expresado en trióxido de azufre ( $SO_3$ ); este máximo es, por el momento, de 4 por ciento.

Las normas españolas establecen también un ensayo de fraguado, fijando un tiempo mínimo de principio —30 ó 45 minutos según tipos, clases y categorías de los cementos— y un tiempo máximo de final —10 ó 12 horas según los casos—. Por ahora no se especifican, en cambio, ni un ensayo de falso fraguado, ni otro de fraguado a temperatura superior a la normal, ambos necesarios y de utilidad práctica.

#### 2.2.2.2. La finura del cemento

La disolución de un sólido en un líquido es tanto más rápida, y tanto más completa, cuanto más fino es el sólido. Lo mismo sucede con la hidratación del cemento. La finura de éste se suele expresar por los *residuos por ciento sobre tamices* de luz de malla dada, o en función de la *superficie específica* ( $cm^2/g$ ). Las normas españolas establecen límites y describen métodos para la determinación de la finura. Estos límites son: uno má-

ximo de 14 ó 16 % sobre tamiz de 4.900 mallas por centímetro cuadrado —88 micras de luz—, según los tipos de cemento; y otros dos, uno máximo de 3.500 o de 4.200 cm<sup>2</sup>/g y otro mínimo de 2.800 ó 3.500 cm<sup>2</sup>/g, según los tipos, las clases y las categorías o calidades de los cementos.

Cuanto mayor es la finura, mayores son las resistencias alcanzadas a cualquier edad del hormigón, mayor es la velocidad de desprendimiento del calor de hidratación y mayor, por lo tanto, la temperatura que puede llegar a alcanzar el hormigón. También es mayor la retracción, tanto térmica como hidráulica, y con ella el peligro de fisuración y de consiguiente corrosión de armaduras, en el caso de los hormigones armados y pretensados.

Por este motivo se limita la superficie específica máxima, pues todo aumento de resistencias logrado a base de finura —y no a base de silicato tricálcico— lleva consigo una gran retracción, máxime si las dosificaciones de cemento en el hormigón son elevadas, como sucede en prefabricación de pretensados.

Cuanto más fino haya de ser un cemento, tanto más yeso requiere para la adecuada regulación de su fraguado, sobre todo si el clínker es rico en aluminato tricálcico y en álcalis, y tanto más delicada es dicha regulación.

Las anomalías de finura de los cementos dan a veces lugar a dificultades en el fraguado, las cuales repercuten en el amasado, en el transporte, en el vertido, en la puesta en obra y en la compactación del hormigón. Si por un defecto o dificultad técnica de fabricación del cemento —y concretamente en la sección de molienda de clínker en las fábricas— el cemento resultante tiene una curva de distribución granulométrica distinta de lo usual, con excesiva abundancia o escasez de elementos finos respecto de gruesos, puede haber una parte del conglomerante que fragüe antes que la otra e impida el fraguado normal de esta última. Esto, que es distinto del fraguado rápido o del falso fraguado, produce los mismos o parecidos efectos en el hormigón fresco, e iguales o peores en cuanto al hormigón endurecido.

La excesiva finura o las anomalías granulométricas del cemento dan lugar, sobre todo en hormigones de relación agua/cemento más bien alta, a efectos de *segregación por exudación o rezumado*, los cuales provocan la formación en la superficie del hormigón fresco de una capa más fluida, rica en elementos finos. Al fraguar y endurecer, esta capa se convierte en una corteza distinta del resto de la masa, mal adherida a ésta, y con una retracción mucho mayor. Esto hace que la corteza se fisure, agriete y descascarille, perjudicando al aspecto superficial del hormigón.

### 2.2.3. Cementos siderúrgicos

De los cementos de tipo siderúrgico enumerados en 2.2.1. sólo se van a considerar el *portland siderúrgico* (PS) y el *portland de horno alto* (PHA), únicos que se fabrican en España\* a base de escorias siderúrgicas, las cuales deben cumplir, naturalmente, unas determinadas condiciones para su empleo en la fabricación de estos cementos.

Los cementos portland siderúrgicos y los portland de horno alto se diferencian únicamente en aquellas características que dependen de las distintas proporciones de clínker y escoria en unos y otros: un mínimo de 70 % de clínker en los primeros, y un mínimo de 30 % y un máximo de 70 % de clínker en los segundos. Naturalmente, se distinguen también según su categoría o calidad (véase 2.2.1.).

\* Hasta el momento no se han fabricado, ni el *siderúrgico sobresulfatado* (SF), ni el *siderúrgico-clínker* (SC), este último "de adición".

Las *escorias básicas granuladas* de horno alto abundan más en componentes ácidos —sílice y alúmina— que en cal, y poseen propiedades hidráulicas latentes. Es decir, en mezcla con clínker y amasadas con agua fraguan y endurecen de por sí, y además dan lugar a compuestos hidráulicos con la cal liberada en la hidratación del clínker. Esto último es el resultado de un “*efecto puzolánico*” (véase 2.2.4.).

Las escorias dan lugar a procesos de hidratación más diferidos, por lo que, en general, los cementos siderúrgicos son de endurecimiento más lento que los portland de igual categoría; esta realidad no la recogen las normas españolas.

Los cementos siderúrgicos en general —y en mayor proporción los PHA— desprenden un calor de hidratación menor que los portland, y al mismo tiempo liberan una cantidad de cal también menor, en la proporción en que la escoria sustituye al clínker. La basicidad y la reserva alcalina de las pastas de cementos siderúrgicos son, por lo tanto, más bajas que las de los portland.

Las escorias, y en consecuencia los cementos siderúrgicos, pueden contener una cierta proporción de sulfuros, a diferencia de los portland.

La menor basicidad y reserva alcalina, y la presencia de sulfuros, hacen que los cementos siderúrgicos no protejan a las armaduras contra la corrosión en la medida en que lo hacen los portland; por el contrario, los sulfuros pueden dar lugar a corrosión. Por este motivo no son recomendables para su empleo en hormigón pretensado.

En contrapartida, la menor cantidad de cal liberada en la hidratación y la naturaleza de los productos creados por ella hacen que estos cementos sean mucho más durables que los portland frente a cualquier tipo de agresividad de naturaleza química, y en especial frente al ataque ejercido por aguas de mar, yesos y sulfatos en general. Se emplean por ello en hormigones de escolleras y cimentaciones.

Desde el punto de vista de la estabilidad, la presencia de sulfuros, su posible oxidación a sulfatos y la acción posterior de éstos, podrían ser un motivo de expansión.

#### 2.2.4. *Cementos puzolánicos*

Los cementos puzolánicos están constituidos por clínker y una puzolana. Esta puede ser natural o artificial. En cuanto a las proporciones relativas de uno y otro material, nada hay estipulado, pero el contenido de puzolana puede oscilar, en general, entre 25 y 40 por ciento.

Por puzolanas naturales se entienden los materiales rocosos de origen volcánico, o análogos, que son capaces de fijar cal a la temperatura ambiente y de formar compuestos con propiedades hidráulicas. Por puzolanas artificiales se entienden los productos que, como las cenizas volantes y las arcillas activadas, tienen las citadas propiedades de las puzolanas naturales.

Las normas españolas imponen un método de ensayo para determinar la *puzolanicidad* de los cementos puzolánicos, así como unas condiciones a los resultados de dicho ensayo. Los cementos puzolánicos se diferencian por su categoría o calidad.

Los cementos puzolánicos, por el hecho de tener sustituida una parte de clínker por la cantidad equivalente de puzolana, liberan menos cal que los portland en la hidratación. Pero, además, una buena parte de esa cal se combina por acción puzolánica para dar nue-

vos compuestos hidráulicos. Así, pues, aunque la basicidad de las pastas de los cementos puzolánicos sea prácticamente la misma que la de los cementos portland (pH 12-12,5), su reserva alcalina es menor que la de éstos.

Este hecho tiene importancia en dos aspectos, relacionados con la durabilidad. Uno es el de la resistencia notablemente mayor de los hormigones de cemento puzolánico frente a las agresiones químicas producidas por aguas puras, ácidas, carbónicas agresivas, e incluso selenitosas y marinas, lo cual los hace aptos para su empleo en obras marítimas, cimentaciones y obras sumergidas. Otro aspecto es el de la protección, ligeramente menor, sobre todo a largo plazo, que los cementos puzolánicos pueden conferir a los hormigones, en el caso de los armados y pretensados.

Desde el punto de vista resistente, los cementos puzolánicos son conglomerantes de endurecimiento lento, pero que a largo plazo pueden dar resistencias iguales o superiores a las de los portland de categoría equivalente. Son, por ello mismo, cementos de relativamente bajo calor de hidratación, lentamente desprendido, especialmente adecuados para hormigonar en grandes masas, como es el caso de las presas.

En cuanto a estabilidad, las pastas de los cementos puzolánicos pueden ser ligeramente más retractivas que las de los portland equivalentes, en razón a la mayor finura a que se suelen moler, y a la cantidad de agua algo mayor que suelen exigir para lograr pastas, morteros u hormigones de una consistencia dada.

Como los cementos siderúrgicos, y aún más que éstos, los cementos puzolánicos, a causa del "efecto silícico" a alta temperatura mencionado al tratar del ensayo del autoclave, son especialmente indicados para los tratamientos térmicos empleados en prefabricación, y que tanta importancia tienen en la cada vez más pujante industrialización de la construcción.

En España existen puzolanas naturales insulares de Canarias, así como peninsulares de Ciudad Real y Olot (Gerona), y puzolanas artificiales constituidas por las cenizas volantes de las distintas centrales térmicas del país.

#### 2.2.5. *Cementos aluminosos*

Los cementos aluminosos son totalmente distintos de los portland. La diferencia fundamental es que, así como en los cementos portland los silicatos cálcicos forman parte del 75 % de sus constituyentes, en los cementos aluminosos la totalidad de éstos está formada prácticamente por aluminatos cálcicos, y en más de un 80-85 % por aluminato monocálcico (AC).

Otra diferencia notable es que, en lugar de liberar cal en su hidratación, como los silicatos del portland, los aluminatos del aluminoso liberan alúmina. Esta diferencia es fundamental en dos aspectos principales que afectan a la durabilidad. Por una parte, la alúmina no es ni mucho menos tan básica como la cal y, en consecuencia, no confiere a las

pastas de cemento aluminoso un carácter alcalino tan fuerte como el de las pastas del portland (el pH de las pastas de cemento aluminoso es 9-10). Además, la reserva alcalina de los cementos aluminosos es mucho menor.

Así, pues, los hormigones de cemento aluminoso son, en general, más resistentes que los de portland frente a medios y ambientes agresivos químicos —aguas puras, ácidas y carbónicas agresivas, selenitosas, etc.—.

Por otra parte, la menor alcalinidad actual y potencial del cemento aluminoso va en detrimento de la protección de las armaduras frente a la corrosión, por lo cual, cuando se emplea este cemento, deben extremarse las precauciones en cuanto a dosificación, áridos utilizados, relación agua/cemento, amasado y puesta en obra, compactación y curado, así como en cuanto a espesor de los recubrimientos de las armaduras y de los estribos de las mismas.

Los cementos aluminosos son muy sensibles a los álcalis procedentes de los áridos, los cuales los descomponen. Por esto no se deben utilizar con ellos áridos que contengan álcalis en gran proporción, como los ricos en componentes micáceos o algunos de naturaleza puzolánica. Tampoco deben contener los áridos fracciones finas de tamaño inferior a 0,5 mm o a 0,2 mm —en las que se concentran tales componentes micáceos— en proporciones apreciables.

La relación agua/cemento de los hormigones de cemento aluminoso debe ser lo más baja posible, y nunca superior a 0,4. En consecuencia con ello, la granulometría de los áridos y la dosificación deben ser tales que permitan una puesta en obra y una compactación adecuadas con los medios usuales. Y tanto más cuanto que con los cementos aluminosos no es aconsejable el empleo de ningún tipo de aditivo.

El curado de los hormigones de cemento aluminoso debe ser extremadamente cuidadoso. Exigen un curado húmedo prolongado, ya que el calor de hidratación del cemento aluminoso es muy superior al de los portland y, en consecuencia, la temperatura del hormigón se eleva bastante y puede producir desecaciones, sobre todo en épocas o climas secos y cálidos y en condiciones de fuerte aireación. El cemento aluminoso es muy sensible a la desecación, sobre todo durante el período de fraguado y primeras etapas del endurecimiento. También es sensible a las temperaturas ambientales altas.

Las condiciones del medio en que el hormigón de cemento aluminoso se encuentre en servicio tienen asimismo una importancia decisiva. Las altas temperaturas de curado o de servicio pueden provocar en la pasta del cemento aluminoso una transformación cristalina irreversible, la cual va acompañada de cesión de agua y merma de resistencia. La caída de la resistencia puede ser tal que ésta quede reducida al 25 % del valor máximo alcanzado. En cuanto al agua cedida en la masa de la pasta, acaba por evaporarse, creando una porosidad y una permeabilidad tales que, además de contribuir a la pérdida de resistencia, facilitan la corrosión de las armaduras en el caso de los hormigones armados y pretensados, con peores efectos en estos últimos en cuanto a rapidez e intensidad, dado el estado de tensión de los alambres.

Por todos los motivos expuestos conducentes a una más rápida e intensa corrosión de las armaduras, los recubrimientos de éstas deben tener un espesor bastante mayor que en el caso de los hormigones de cemento portland. También por ello resulta muy delicado el empleo de los cementos aluminosos en hormigones pretensados, pues los espesores de los recubrimientos en ellos son pequeños en general. En todo caso es obligado extremar al máximo todas y cada una de las precauciones antes señaladas, única forma de tener una cierta garantía en cuanto a la durabilidad del hormigón de cemento aluminoso.

Por otra parte, este cemento es insustituible cuando se trata de obtener morteros u hormigones refractarios.

#### 2.2.6. *Cementos de adición\**

Los cementos de adición contemplados en las actuales normas españolas pretenden ser equivalentes a los llamados en otras normas extranjeras *cementos de albañilería*. Son mezclas en proporciones no fijadas de clínker con otras materias o productos definidos o no. La realidad es que, de hecho, existen sobre el papel, pero no se fabrican en España, al menos con el marchamo de “cementos de adición”.

Como productos mal definidos, son difícilmente controlables, sobre todo en cuanto se refiere a su composición, salvo los cementos siderúrgico-clínker, cuyo componente distinto del clínker ha de ser necesariamente escoria granulada de horno alto, en proporción superior al 70 por ciento.

Los cementos de adición son conglomerantes de endurecimiento muy lento.

\* \* \*

Lo expuesto ha pretendido poner de relieve las evidentes relaciones existentes entre las características de los materiales primarios del hormigón, y muy en particular de los cementos, y las propiedades y comportamiento del conglomerado pétreo resultante.

Estas propiedades y comportamiento se han analizado a través de los aspectos más destacados del hormigón: su resistencia, su estabilidad y su durabilidad.

Si de todo ello se puede sacar un mejor conocimiento de los cementos, conducente a un empleo más racional de los mismos en los tres aspectos señalados, el cual proporcione al usuario una mayor garantía de seguridad y calidad, e incluso una mayor economía en las obras, se considera que se ha logrado el fin propuesto al desarrollar el tema.

---

\* Una consideración detenida de la definición y condiciones de composición de estos cementos, según el PCCH-64, llevaría a la conclusión de que “cementos de adición” son todos los descritos en lo que precede, salvo el aluminoso.

# nota editorial sobre control de calidad de obras de hormigón

Las técnicas de control estadístico de calidad son recientes, nacidas en este siglo, y han encontrado rápido desarrollo y empleo en industrias jóvenes (automación, electrónica, etc.). En cambio, su aplicación a industrias tan tradicionales como la de la construcción es mucho más lenta y difícil, planteando complejos problemas.

En España, y desde hace varios años, diversos especialistas en número creciente vienen trabajando en el tema. La Comisión Interministerial del Hormigón, a través de un grupo de expertos, ha preparado y publicado recientemente un fascículo de 48 páginas, titulado "RESISTENCIA CARACTERÍSTICA Y CONTROL DE CALIDAD", que constituye un intento de sistematización y tratamiento ordenado del asunto, brindando soluciones a los problemas de proyecto y construcción de estructuras de hormigón armado, relacionados con el control de calidad.

Esta publicación, de carácter más bien básico, pero susceptible de aplicación práctica inmediata, no es hoy más que una propuesta y se desconoce su operatividad real. No existe tampoco gran experiencia en otros países. No debe olvidarse que, valga de ejemplo, la Asociación Española para el control de la Calidad es, por el momento, la única Asociación nacional en el mundo que ha desarrollado un Comité de Construcción; y que las Asociaciones CEB-CIB-FIP-RILEM están ahora trabajando en el tema a través de un Comité Mixto, en el que España juega papel destacado.

Sería de gran valor que los profesionales españoles de la construcción colaborasen en la tarea de estudiar, criticar, aplicar y, sobre todo, trasladar sus experiencias prácticas, en relación con el documento citado. Como dice su Presidente en la Introducción a la obra que comentamos, la Comisión Permanente del Hormigón, radicada en el Ministerio de Obras Públicas, agradecerá las colaboraciones que se le hagan llegar al respecto.

---

## "resistencia característica y control de calidad"

publicado por la Secretaría General Técnica del M. O. P.

Un fascículo de 48 págs., formato 28 × 20 cm.

**Precio: 150 ptas.**

**Información en:** Secretaría General Técnica del M. O. P.

**Distribución:** Servicio de Publicaciones del M. O. P., o  
Instituto Eduardo Torroja.

**determinación del contenido  
de constituyentes secundarios  
de un cemento mixto con base portland**

N. MUSIKAS

Revue des Matériaux de Construction, enero-febrero 1970, n.º 652-653, págs. 21-35

El presente trabajo tiene por objeto precisar la naturaleza de los cementos compuestos, binarios o ternarios, cuyos constituyentes son: clínker, yeso, escorias, cenizas volantes o fundidas, y puzolanas naturales.

Para el análisis cualitativo rápido se utiliza la lupa binocular.

Este tipo de control es aplicable en los laboratorios de obra o en centrales de hormigón.

Al tratar de determinar el contenido de clínker, de yeso y de cada una de las adiciones, el punto de partida es su separación fraccionada por centrifugaciones en líquidos densos (mezclas de yoduro de metileno y de xileno), basándose en la idea de que los constituyentes del cemento poseen pesos específicos diferentes.

Para obtener rapidez y rigor en estas operaciones se realizan sobre fracción granulométrica, 50-63 micras, de tamaño suficientemente grande para evitar el acoplamiento de los granos.

La dosificación de un elemento específico efectuada sobre el constituyente ya aislado, que ha de quedar definido por él, y sobre la totalidad del cemento, permite calcular el porcentaje de este constituyente en dicho cemento.

En las conclusiones se apunta la necesidad de aportar mejoras a las técnicas propuestas en el trabajo.

## **experiencias con dos separadores Sturtevant en un circuito de molienda**

J. SCHREVEENS

Zement-Kalk-Gips, mayo 1972, n.º 5, págs. 248-253

La instalación de molienda n.º II de Obourg, de una potencia instalada de 8.720 CV, lleva dos separadores Sturtevant, de 22 pies de diámetro, sobre los que se hicieron gran número de ensayos.

De estos ensayos se desprende que:

- La variación de la superficie específica Blaine por los registros del diafragma permite un margen amplio de regulaciones automáticas de la finura.
- Producciones de más de 240 t/h de cemento P-300 han sido obtenidas con un solo separador, y de más de 300 t/h, con dos separadores marchando en paralelo.
- El aumento de la carga circulante para la producción de cemento P-300 ha permitido un aumento de producción de cerca del 10 %. También se ha comprobado un cambio de la curva de repartición granulométrica del cemento.
- Un estudio del funcionamiento de los separadores por medio de las curvas de corte de troup ha sido emprendido para cuatro casos de marchas distintas.

Una regulación automática del circuito de molienda según las indicaciones de un Blainómetro continuo se halla en estudio.

El sistema de enfriamiento por circulación de agua a lo largo del cono exterior de los separadores provoca un descenso de 30°C en el producto acabado para un consumo de agua muy interesante.

Una comparación entre circuito abierto y circuito cerrado ha mostrado que la equivalencia de los sistemas se establece en Ciments d'Obourg para un cemento que tiene una superficie específica de 2.500 Blaine aproximadamente. Para las calidades de cemento P-300 y P-400 se han comprobado aumentos de producción, que llegan al 33 % para el circuito cerrado en relación con el circuito abierto.

## **los factores que influyen sobre el tiempo de retención en los molinos de cemento**

M. CLIMENT REIG

Zement-Kalk-Gips, mayo 1972, n.º 5, págs. 245-247

En general, se puede comprobar que el tiempo de retención del material constituye un factor de influencia importante para la capacidad de producción posible de una instalación de molienda. El tiempo de retención en una instalación de molienda de cemento en circuito cerrado es función de los diámetros de las bolas que constituyen la carga de cuerpos moledores, de la carga circulante de material a moler, de la relación de masa entre los cuerpos moledores y el clínker, del factor del elevador de cangilones o del coeficiente de circulación, etc. La capacidad de producción óptima de una instalación de mo-

lienda en circuito cerrado no plantea, como condición previa, la regulación óptima de los separadores de aire o del molino. Los valores característicos de circulación bajos van en el sentido de una capacidad de producción baja. La superficie específica del producto permanece constante en gran medida cuando la instalación es conducida en los límites de la capacidad de producción óptima. A cada instalación de molienda corresponde un tiempo de retención, determinado por el material que permite alcanzar la mejor capacidad de producción. Por encima de este valor, la producción baja de nuevo.

## **instalaciones de molienda de cemento en USA**

J. T. MORGAN

Zement-Kalk-Gips, mayo 1972, n.º 5, págs. 241-244

En los Estados Unidos, el cemento es casi exclusivamente molido en instalaciones de circuito cerrado. Partiendo de molinos largos en circuito abierto con clasificadores para pasar por los molinos cortos de gran carga de cemento circulante, se ha llegado a los molinos de longitud media con separadores. La aglomeración más importante del material en los grandes molinos ha sido combatida por aditivos de molienda. En los molinos todavía más grandes fue necesario inyectar agua pulverizada en la cámara de molienda. En 1962, Fuller introdujo el enfriador de lecho fluidificado en el que el producto y el rechazo de vuelta son enfriados por tubos con agua corriente.

La mayor parte de las instalaciones en circuito cerrado son reguladas según el consumo de corriente del elevador, a veces en paralelo con un oído eléctrico. La medida radiactiva de los rechazos devueltos está poco extendida.

Para la automatización de las instalaciones de molienda, Fuller puso a punto un aparato automático de medir la finura que determina la superficie específica según Blaine.

## **ensayo de molienda con las nuevas placas angulares decaladas en espiral**

E. EIGNER

Zement-Kalk-Gips, mayo 1972, n.º 5, págs. 239-240

Los ensayos efectuados sobre molinos tubulares con el nuevo blindaje de placas decaladas en espiral han mostrado que el montaje de las placas debe hacerse en dos hileras y que los anillos de placas de blindaje, de la alimentación hacia la descarga, deben estar decaladas en dirección de la rotación de la máquina para obtener economías de fuerza motriz o los aumentos de producción correspondientes. A partir de los resultados obtenidos, se puede esperar rebajar el consumo de un molino de 780 a 800 kW a 650-670 kW. Permaneciendo igual la producción, el consumo específico de energía pasa de 31,8 a 26,7 kWh/t, lo que puede traducirse en una economía del 16 % aproximadamente.

## **una concepción más económica de los grandes molinos**

Y. FUKUDA, E. ONUMA y otros

Zement-Kalk-Gips, mayo 1972, n.º 5, págs. 237-238

En el proyecto de las instalaciones de molienda que utilizan molinos de gran potencia, hay que tener en cuenta los puntos siguientes:

1. Determinación de una relación óptima entre las capacidades de producción del separador de aire y del molino.
2. Adaptación de las condiciones de consumición, en el interior del molino, a la granulometría de alimentación y a la molturabilidad del material.

Se comentan algunos casos de experiencia de la concepción y de la conducción de los grandes molinos en relación con estos dos puntos citados. En lo que se refiere al primer punto, los ejemplos permiten demostrar cómo se mejora la rentabilidad y el consumo específico de energía, la determinación de la carga circulante apropiada y la adecuada relación aire/material en el separador.

En cuanto al segundo punto, se tratan los problemas en averías, sobre todo el atasco por mala regulación.

Las correcciones aportadas a las condiciones de molienda permiten remediarlas.

## **los aditivos de molienda para los molinos de cemento**

M. S. GUELLA, C. ROCCHIETTA y otros

Zement-Kalk-Gips, mayo 1972, n.º 5, págs. 234-236

La mayor parte de las fábricas de cemento italianas utilizan actualmente productos de adición de base orgánica para la molienda del clínker.

Los resultados de un ensayo sobre un molino de dimensión importante realizado por Grace Italiana con Unicem S.p.A. se presentan en este trabajo.

Los ensayos preliminares de laboratorio dieron indicaciones sobre el apelmazado del cemento y sobre la eficacia de los aditivos de molienda HEA-2 para evitarlo.

Las medidas de la carga circulante, tiempos de retención del molino y de la relación acero/clínker por el método Grace, han permitido conocer las condiciones de marcha del molino con y sin aditivos de molienda.

Las conclusiones alcanzan al balance económico del aumento de producción, y a la comparación entre las curvas granulométricas, la resistencia y las otras características físicas del cemento con y sin aditivos de molienda.

## **la filtración y extrusión de las pastas crudas de cemento**

J. P. BOMBLED

Zement-Kalk-Gips, mayo 1972, n.º 5, págs. 228-233

La filtración de las pastas crudas de cemento debe permitir adaptar la cocción, más económica, en vía semihúmeda a los materiales que no se prestan más que a la preparación por vía húmeda.

La percolación del agua en una pasta sigue las leyes de los cuerpos porosos (Darcy, Kozeny, Carman).

Los ensayos llevados a cabo en el laboratorio del CERILH han permitido estudiar el comportamiento de las pastas de cinco fábricas que utilizan el procedimiento en Francia. Se ha buscado la influencia de factores unidos, bien al material (presión de filtración, espesor de la torta) o bien a la materia prima (contenido en agua inicial, temperatura, riqueza en  $\text{CO}_3\text{Ca}$ , finura, ...).

Desde luego, se vio la importancia de la floculación de la pasta cruda sobre el rendimiento del filtro y se ha propuesto un método de medida del nivel de floculación. La experiencia ha demostrado que, en la Industria cementera, sólo el  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  o productos que contengan iones Ca son interesantes como floculantes.

Se estudió, por otra parte, la aptitud a la extrusión de las tortas de filtración y se dan métodos de medida y de control del granulado. De una manera general la filtración necesita materias crudas que presenten una superficie BET baja, mientras que una extrusión fácil impone una alta plasticidad de Atterberg que no se encuentra más que en los materiales de gran finura; de ahí, resulta un cierto antagonismo: una pasta que filtra bien se da mal a la extrusión e inversamente.

El interés de la preparación de los crudos de cemento por filtración-extrusión depende de numerosos factores (precio de la energía eléctrica y calorífica, coste de las telas y de los equipos o también de la mano de obra); hay que atenerse al balance de la operación variable en el espacio y en el tiempo.

## **la influencia de los molinos de rulos sobre la preparación del crudo de cemento**

E. G. LOESCHE

Zement-Kalk-Gips, mayo 1972, n.º 5, págs. 225-227

Durante los últimos años, los molinos de rulos han sido cada vez más utilizados para molienda del crudo en la industria del cemento, en particular en Europa y Extremo Oriente. Una de las razones de esta elección es la ventaja que presenta su empleo en combinación con intercambiadores de calor. Los gases, después de haber sido utilizados en totalidad o en parte en el molino-secador, son pasados por un filtro electrostático único que tiene un buen rendimiento. Se han establecido programas tipo que indican el molino adaptado a cada tipo de horno.

Esta combinación molino-horno facilita mucho el control de la composición química del crudo y de su finura. Para regular la composición granulométrica del crudo se ha creado un selector rotativo que permite mantener constante esta composición; el porcentaje de granos gruesos permanece muy bajo con relación al de los granos medios y finos.

El tiempo de respuesta de un molino de rulos, al ser más corto, se puede, utilizando un analizador continuo y un calculador, modificar muy rápidamente la regulación de alimentación del molino en caso de variaciones en las materias primas, lo que acelera sensiblemente la mezcla y la homogeneización del crudo.

## **nuevas perspectivas para la fabricación de productos en tierra cocida**

E. DE BAROLOMEIS

Ziegelindustrie, mayo 1972, n.º 5, págs. 242-245

La instalación equipada de un secadero-horno no dispone más que de una capacidad relativamente limitada; sin embargo, sus gastos de explotación son comparables a los de instalaciones mucho más grandes y costosas. Es indicada para fábricas de producción diversificada y permite repartir esta producción entre varios hornos automáticos especiales que son absolutamente independientes los unos de los otros.

## **la adsorción de humedad de las materias primas para la industria ladrillera**

P. LEUSDEN y E. HESSE

Ziegelindustrie, mayo 1972, n.º 5, págs. 216-223

Ciertos cambios de las condiciones de trabajo (introducción de la semana de cinco días) y la introducción del horno-túnel han tenido como consecuencia tiempos de almacenamiento prolongados para los ladrillos crudos, lo que hace que entre el secado y la cocción éstos reabsorban, a partir del aire ambiente, una cierta humedad que permanece en la masa. Aparte de algunos casos raros, en que el acceso irregular del aire al material secado provoca ya fisuras, la absorción temporal de agua parece no tener gran influencia sobre la calidad de los productos.

De los ensayos con seis pastas de procedencias muy distintas se ha visto no obstante que, para todas las materias primas de tierra cocida, la adsorción de humedad entre el secado y la cocción provoca una reducción de la resistencia del material. En pocas palabras, el autor describe la observación de fenómenos que tienen como consecuencia que, según el género de pasta y la duración de la acción del aire húmedo, entre otras, la heladicidad de la tierra cocida se aumenta hasta un 20 %. Además ha sido comprobado que los principales daños encontrados sobre el material cerámico crudo se producen en un lapso de tiempo muy corto e, incluso, si durante este tiempo el material está en condiciones de fijar una pequeña cantidad de humedad y la fija sobre el material crudo.

## **activación mecánica de las arcillas dilatadas**

H. HOFFMANN

Ziegelindustrie, mayo 1972, n.º 5, págs. 224-232

La producción de arcillas dilatadas de alta calidad, de características constantes, depende, en primer lugar, de las propiedades térmicas de las arcillas utilizadas, y en particular, de la longitud del espectro de temperaturas durante las que se mantiene casi constante la viscosidad en las condiciones operativas del horno. En general los resultados de ensayos disponibles permiten deducir la capacidad de expansión, y la estabilidad en la conducción del horno aumenta al crecer el intervalo entre el punto de reblandecimiento y el punto de fusión de la arcilla dilatada, cuando la dispersión de la calidad del producto cocido viene limitada al mismo tiempo. El reconocimiento de estas relaciones ha conducido a modificar químico-mineralógicamente las arcillas de capacidad de expansión natural insuficiente por adición de agentes de expansión, a influir el comportamiento térmico de las materias primas modificando la atmósfera del horno, o a buscar caminos para mejorar la calidad durante la preparación del material crudo.

La preparación en seco de las arcillas, adoptada cada vez más en estos últimos tiempos, plantea la cuestión de saber qué influencia tiene la molienda sobre el comportamiento piropástico de las arcillas dilatadas.

## **nota provisional III para el hormigón armado ligero, fabricación y trabajo. (Redacción mayo 1972)**

Beton, mayo 1972, n.º 5, págs. 205-208

La presente noticia ha sido elaborada por el grupo de trabajo hormigón ligero de la unión de cementeros alemanes. Esta termina la serie de notas destinadas a completar las "directrices provisionales para el dimensionamiento y ejecución del hormigón armado ligero" (redacción 1972). La nota provisional I para el hormigón armado ligero: "Control de hormigón para la vigilancia de los áridos ligeros" ha aparecido bajo la forma de redacción de julio 1968 y la nota provisional II para el hormigón armado ligero: "Composición y control de la adaptación", como redacción de octubre 1969.

La experiencia adquirida desde la aparición de las notas provisionales I y II con el creciente empleo del hormigón armado ligero en los trabajos de fabricación, en laboratorio y en obra, ha sido tomado en cuenta en la revisión de estas notas.

## **estudios sobre la influencia de la temperatura del hormigón sobre el comportamiento del fraguado del hormigón con retardador**

O. HALLAUER

Beton, mayo 1972, n.º 5, págs. 199-203

El empleo de retardadores de fraguado se ha generalizado en el hormigonado de las obras de puentes, pues aseguran la plasticidad del hormigón hasta terminar el hormigonado. Cuando se establecieron grandes elementos de construcción en la Edificación y Obras Públicas se utilizaron retardadores con el fin de evitar la formación de juntas de trabajo y en las partes masivas se puede disminuir el desprendimiento rápido de calor que tiene lugar con la hidratación añadiendo un retardador. Conviene no utilizar retardadores sin un estudio previo a fondo, pues es necesario tratar de mejorar las propiedades y determinar los defectos eventualmente producidos. El Instituto Federal para trabajos hidráulicos y submarinos de Karlsruhe ha estudiado la influencia de la temperatura sobre el comportamiento de fraguado del hormigón en masa adicionado de retardador. El objeto del estudio era la dosificación del retardador, para temperaturas de hormigón de 10°, 20° y 30°C, que permitiera un comienzo de fraguado a las 12 horas de hormigonado. Se realizó para cada una de las temperaturas, una mezcla testigo sin retardador y tres mezclas con una dosis de retardador de 0,2, 0,4 y 0,8 % en peso del peso de cemento y se determinó el fraguado. Un ensayo de resistencia a compresión se hizo a los 28 días. Los hormigones eran de cemento de horno alto rico en escoria: Z 275 cenizas volantes, y grava 0/30 mm del curso superior del Rin.

## **un nuevo aparato para la determinación simultánea del CO<sub>2</sub> y del H<sub>2</sub>O en la cal calcinada**

E. SCHIELE, K. LESCH y R. SCHORLEMER

Zement-Kalk-Gips, noviembre 1971, n.º 11, págs. 533-536

En la actualidad es posible determinar en algunos minutos las impurezas minerales en la cal calcinada, gracias a los métodos de medida fisicoquímicos. Sin embargo para un análisis químico completo es necesario también determinar CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O.

La medida de estos dos últimos valores era relativamente larga hasta ahora, porque la determinación termogravimétrica del H<sub>2</sub>O no estaba automatizada.

El autor presenta un equipo de aparatos que realiza en algunos minutos la determinación de la pérdida al fuego como suma de H<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub>.

Por otra parte, precisa los límites de error así como las desviaciones medias de este método de medida.

## **ensayos de rendimiento de la cal calcinada**

W. OHNEMÜLLER

Zement-Kalk-Gips, noviembre 1971, n.º 11, págs. 527-532

El ensayo de rendimiento según DIN 1060 no da más que muy difícilmente valores diferenciados que permitan una apreciación de las cales finas. Las relaciones entre la calidad de la cal endurecida y las condiciones de fabricación no son claramente mostradas por este ensayo, lo mismo que es imposible ver una relación clara con las características de trabajabilidad. No se puede juzgar sobre las cales de calcinación blanda mediante este ensayo.

De más utilidad es probablemente el ensayo del volumen de sedimentación de las cales en polvo. En efecto, muestra una relación con la superficie específica del producto apagado y permite hacerse una idea del proceso de activación.

## **el desgaste de las bolas en los molinos tubulares**

E. W. HANKE

Zement-Kalk-Gips, noviembre 1971, n.º 11, págs. 520-526

En este trabajo, las leyes que rigen el desgaste de los cuerpos molidores no son considerados desde el punto de vista de la modificación de su diámetro, sino más bien desde el punto de vista de la pérdida de peso. Se puso a punto un procedimiento de cálculo que permite, mediante ecuaciones sencillas, indicar la composición de la carga de bolas partiendo de la nueva situación del nivel de los cuerpos molidores en el interior del molino. Aun en caso de coincidencia de las dos hipótesis límites conocidas referentes al desgaste de las bolas, estas ecuaciones lineales aseguran un modo de cálculo más sencillo que las ecuaciones exponenciales utilizadas hasta ahora. El autor demuestra la aplicación de este procedimiento sencillo de cálculo mediante el ejemplo de un molino de cemento de 3,8 m de diámetro.

## **la segregación del crudo de cemento en caída de gran altura**

R. OPPITZ

Zement-Kalk-Gips, noviembre 1971, n.º 11, págs. 518-519

Para explicar los fenómenos de segregación observados en los silos de crudo, un chorro de este material en caída libre de 10 m de altura se ha sometido a examen para darse cuenta si la caída produce segregación. Las secuencias filmadas han demostrado que el aire arrastrado se escapa en dirección radial al impacto, lo que produce un efecto separador sobre el polvo de crudo. En el seno del material depositado, el crudo era, del centro hacia fuera, cada vez más fino y cada vez más rico en  $\text{CO}_3\text{Ca}$ . Esta segregación explica la composición química irregular del crudo prehomogeneizado que se puede comprobar en la descarga de los silos de tolva.

## **mejora de la homogeneización de las cargas**

H. KLEIN

Zement-Kalk-Gips, noviembre 1971, n.º 11, págs. 515-517

Los criterios más importantes que determinan el éxito del procedimiento de homogeneización neumática son el volumen de aire y su presión en relación con la capacidad del silo y la cantidad de material a homogeneizar. Se llama la atención sobre este punto en los trabajos cuya finalidad es examinar estos principios teórica y prácticamente. Se exponen las razones por las cuales interesa una operación de mezclado tan corta como sea posible. El nuevo sistema de homogeneización Polisius de ocho sectores es explicado y se demuestra que, en este caso las exigencias de un importante volumen específico de aire unido a una débil potencia instalada han encontrado una respuesta sencilla e ingeniosa. Figuran las características de una instalación que existen en una fábrica de cemento y los resultados obtenidos.

En fin, es un sistema flexible que se adapta bien a las condiciones particulares de las instalaciones de homogeneización que trabajan en continuo.

## **los silos de gran capacidad con efecto de mezclado**

J. C. GRAPENGUSSER

Zement-Kalk-Gips, noviembre 1971, n.º 11, págs. 512-514

Los silos para el crudo sirven para el almacenado y el mezclado; estas dos operaciones se hacen de costumbre en cámaras separadas del silo.

Pero la técnica de la cámara de mezclado, que ha hecho sus pruebas en fábrica desde hace varios años, no exige más que un solo compartimiento común. Los almacenamientos de crudo tradicionales se comparan con el nuevo sistema de ensilado, en lo que se refiere a los costes de inversión y sostenimiento. No se dispone, para la comparación entre diferentes sistemas de mezclado, de una base común. La aplicación de la técnica de la cámara de mezclado en los silos de gran capacidad se describe en este trabajo.

## **experiencia del empleo de los «scrapers» para la recogida en el «stock-pile»**

H. J. WEDDIG

Zement-Kalk-Gips, noviembre 1971, n.º 11, págs. 509-511

Se comparan los diferentes tipos de rebañadoras (scrapers) y otros sistemas de recogida del montón, así como las fórmulas de empilado de las materias primas.

Se precisan las características de las materias primas, tales como su humedad, su granulometría, su densidad aparente, etc., que hacen que se presten a la recogida con rebañadoras. La humedad, pegajosidad, la dureza (en caso de que se hielen los materiales húmedos), así como los tamaños de los trozos.

Se exponen los métodos adecuados de empilado teniendo en cuenta el estado de humedad del material. Los autores precisan también las inversiones necesarias en equipo y mantenimiento en función del nivel de homogeneización que se desea alcanzar. El funcionamiento, a la vez manual y automático, es considerado bajo el ángulo de la seguridad del trabajo.

## **molinos de rulos MPS, estado y evolución**

S. SCHAUER

Zement-Kalk-Gips, noviembre 1971, n.º 11, págs. 506-508

Los molinos de rulos son las máquinas del porvenir, sobre todo en la industria del cemento, para la preparación del crudo. El autor presenta un estado de la situación actual y los progresos realizados sobre este tipo de molino. Ha sido posible, con ayuda de los nuevos conocimientos adquiridos, elaborar bases de cálculo que permitan, partiendo de los resultados de ensayos de aptitud a la molienda en molino de ensayo, sacar con certeza conclusiones sobre las condiciones de funcionamiento de unidades de gran tamaño.

Con estos molinos el consumo específico de energía acusa una regresión sensible, lo que aumenta la rentabilidad con relación a otros sistemas.

No se desecha la posibilidad de utilizar molinos gigantes de este tipo para la molienda de clínker.

## **influencia de la trituración primaria sobre la molienda de las materias primas de cemento**

H. SCHNEIDER y H. G. ZEISEL

Zement-Kalk-Gips, noviembre 1971, n.º 11, págs. 503-505

Una fragmentación gruesa de las materias primas de cemento en un molino a percusión antes del molido contribuye a mejorar el proceso de reducción. En dos instalaciones semejantes de molinos tubulares, uno de ellos ha sido transformado según el sistema Hirschmann de molienda. Después de la implantación del molino a percusión, cuyos productos salen a 10 mm, la capacidad de la instalación de molienda ha podido ser aumentada en un 40 %, mientras que el rendimiento energético mejoró en 4 kWh/t. En esta instalación de molienda, de 150 t/h de capacidad, las economías realizadas cada año alcanzan 300.000 marcos.

## **instalación de molienda en tándem para las materias primas de cemento**

H. FASBENDER

Zement-Kalk-Gips, noviembre 1971, n.º 11, págs. 499-502

Si se fija la atención sobre la experiencia extraída de 20 instalaciones de molienda en tándem destinadas a las materias primas de cemento con capacidades de producción hasta más de 200 t/h, estos grupos de máquinas añaden, a una seguridad de funcionamiento elevada, un consumo específico de energía interesante; todo esto sin exigir grandes inversiones. Por otra parte, permiten el aprovechamiento integral del calor recuperado de los gases quemados. Materias primas semiduras con una granulometría de hasta 150 mm y una humedad de hasta 12 % han sido tratadas sin dificultades.

Un molino especial de percusión cuyo fondo está cerrado trabaja concertado con un tubo-molador corto. El producto molido es enviado a través de un separador de aire. Este puede ir unido directamente a un electrofiltro. Las adiciones de arenas se hacen directamente en el tubo-molador.

En relación con los molinos corrientes con elevadores de canjilones, los costes de inversión y consumo específico de energía son el 15 % más favorables.

Esta puesta a punto se completa con datos referentes a las mejoras de producción de algunas instalaciones transformadas, así como por algunas curvas características de granulometrías.

## **machacadora compound (sistema Andreas/Osonebichine) para la materia prima del cemento**

H. MOTEK

Zement-Kalk-Gips, noviembre 1971, n.º 11, págs. 497-498

La machacadora compound, sistema Andreas/Osonebichine, es una quebrantadora a percusión de dos rotores de nuevo modelo, destinada a realizar a la vez la trituración primaria y secundaria. El segundo rotor está colocado más bajo que el primero; no sale prácticamente nada de rechazo por la hendidura entre los dos rotores. La machacadora compound reduce la caliza tal como llega de cantera, en una sola pasada, a una granulometría final de un 97 % inferior a 25 mm.

La máquina es insensible a los materiales húmedos. Cuando el cárter en totalidad o en parte, es calentado con aceite como portador calorífico, es posible trabajar con materiales de hasta un 15 % de humedad media.

# **materias primas, preparación y homogeneización**

H. ERNI

Zement-Kalk-Gips, noviembre 1971, n.º 11, págs. 487-496

Una prospección seria y un examen a fondo de las materias primas son condiciones previas para la elección óptima del proceso y de las máquinas.

La parte de los costes totales de producción de una fábrica de cemento que corresponde a la preparación y homogeneización es del 8 al 18 %. En numerosas fábricas está en segundo lugar después de la cocción.

Se presentan algunos nuevos desarrollos de trituradoras para materiales poco abrasivos y rendimientos elevados. Las machacadoras de cilindros son de nuevo cada vez más empleadas para los materiales pegajosos y húmedos; para otros tipos de trituradoras es posible evitar en una gran medida el embarrado, utilizando yunques móviles o mediante calefacción especial.

Se indican los campos de aplicación para los diferentes procedimientos de molienda y de secado del crudo, y las representaciones esquemáticas de algunas instalaciones. Se destaca la puesta a punto de instalaciones de molienda de crudo de grandes dimensiones, para producciones de 300 a 400 t/h.

En el caso de la preparación por vía húmeda, se llama la atención sobre la importancia de la molienda en circuito cerrado con tamiz e hidrociclones. Se presentan los esquemas de principio de dos instalaciones de preparación de greda muy diferentes. En fin, se tratan los últimos desarrollos de filtración de las pastas.

Se aplican diferentes sistemas de pre y post-homogeneización. Al mismo tiempo se mencionan algunas novedades en materia de instalaciones de pre-homogeneización, así como una comparación de los costes para distintas formas de empilado y de toma.

Se comparan los gastos de inversión y de explotación de tres sistemas de post-homogeneización, y se demuestra que después de una pre-homogeneización adecuada y una buena regulación de la mezcla es suficiente una homogeneización continua.

# **tubos de hormigón mejorados por las resinas sintéticas**

J. W. FIBIER

Betonstein-Zeitung, diciembre 1971, n.º 12, págs. 771-775

Debido al aumento de la actividad industrial y consecutivo incremento de la agresividad de las aguas residuales, los tubos de hormigón mejorados por las resinas sintéticas son cada vez más utilizados. El empleo de resinas permite sobre todo proteger la pasta de cemento, impidiendo su erosión. Además, se obtiene, en el caso de los tubos de hormigón armado, una protección suplementaria de las armaduras. En lo que se refiere a la preparación del subsuelo, deben tomarse medidas según el modo de fabricar los tubos de hor-

migón; por lo que se deben observar los reglamentos relativos a la protección del hormigón contra los medios agresivos así como las prescripciones de puesta en obra. Este estudio da indicaciones sobre la utilización adecuada de productos sintéticos en la fabricación de los tubos en hormigón.

## **ensayo de corta duración relativo a la influencia de los aditivos del hormigón sobre la resistencia química de los morteros de cemento**

E. HARTMANN y R. SCHÖNFELDER

Betonstein-Zeitung, diciembre 1971, n.º 12, págs. 752-756

Debido a la extensión del empleo de los aditivos al hormigón en la construcción, se hizo necesario desarrollar los conocimientos relativos a su influencia sobre el hormigón. Con este fin, se estudió la influencia de los aditivos sobre la resistencia química del hormigón, sometiendo unas placas de mortero de cemento a ensayos de corta duración de resistencia a los sulfatos. Los ensayos incluían 5 fluidificantes, 5 aireantes y 5 impermeabilizantes. Los ensayos no revelaron ninguna influencia de los aditivos sobre la resistencia a los sulfatos del mortero de cemento. Este resultado puede hacerse extensivo al hormigón. No hay que excluir que, en algunos casos, hay cierta mejora de la resistencia química del hormigón, pero tendría poca importancia en la práctica. Por el contrario, mejoras más sensibles podrían obtenerse por otras medidas, por ejemplo empleando un cemento apropiado o haciendo un hormigón compacto.

## **la deformabilidad del mortero de cemento joven sometido a compresión**

A. PLANK

Betonstein-Zeitung, diciembre 1971, n.º 12, págs. 741-751

Los morteros de cemento frescos y jóvenes son materiales compuestos de varias fases. Bien compactados se pueden considerar durante el fraguado como sistemas de dos fases: con la pasta de cemento como líquido y el árido como sólido. La hidratación que prosigue de manera continua a partir del comienzo del amasado, modifica constantemente la fase líquida por incorporación química del agua. Una probeta cilíndrica de mortero de cemento completamente compactado recibe su estabilidad, desde el punto de vista macroscópico, del rozamiento interno de los granos de árido, de la tensión capilar en la superficie de la probeta y, en pequeña medida, de la cohesión. Su comportamiento mecánico es, por lo tanto, similar al de una probeta compuesta de granos no cohesivos y de partículas cohesivas húmedas.

Sobre la base de ensayos realizados por el autor sobre mortero de 205 a 380 minutos de edad y de una comparación con resultados de ensayos publicados, se ha establecido que: las probetas cilíndricas de arena y de mortero fresco presentan, en curso del ensayo triaxial, el mismo comportamiento: tensión/deformación.

Todas las probetas cilíndricas sometidas al ensayo de compresión monoaxial presentan una deformabilidad característica similar. Su curvatura se modifica al aumentar la edad de los morteros, con un aspecto inicial esencialmente convexo que resulta cóncavo después con relación al eje de deformaciones.

Los coeficientes de dilatación transversal, determinados a partir de las deformaciones globales, se aumentan con la deformación longitudinal marcada y presentan, en la zona estudiada, los valores más elevados en el instante del ensayo más precoz.

La reacción a la rotura de las probetas cilíndricas decrece linealmente con la edad; dependen principalmente de la cantidad de pasta de cemento por unidad de volumen y, en menor grado, de la granulometría del árido y de la composición de la pasta de cemento. La reacción a la rotura del mortero de cemento joven es superior en una potencia de 10 a la del mortero endurecido.

Las probetas cilíndricas no se deforman como las cáscaras-bóveda, sino como las cáscaras en parábola o en hipérbola. Admitiendo que las probetas se deforman en hipérbola y simétricamente, se obtienen, por acortamientos axiales hasta un 0,8 %, reducciones de volumen. Sólo sollicitaciones muy precoces para mezclas definidas hacen aparecer aumentos de volumen.

## **el módulo de alúmina en los cálculos del crudo según la norma de equivalencia**

A. GLAUSER

Zement-Kalk-Gips, abril 1972, n.º 4, págs. 202-206

En este trabajo, el procedimiento de cálculo según la norma de equivalencia, que sirve en la dosificación del crudo de cemento portland con los coeficientes de Köhl, también se extiende al módulo de alúmina. Este método puede servir también para el cálculo de las fases del clínker. Hay que subrayar, una vez más, que puede ser recomendada como rama numérica en la automatización de la alimentación de las materias primas.

Así se terminan estas investigaciones sobre la norma de equivalencia para el cálculo del crudo de cemento portland. Periódicamente se publicará una representación global de este modo de cálculo. En la misma ocasión, los números atómicos de equivalencias, que son necesarios para estos cálculos, serán publicados a partir de la obra de C. Burri.

## **el rendimiento térmico de los precalentadores del crudo de cemento**

B. VOSTEEN

Zement-Kalk-Gips, abril 1972, n.º 4, págs. 194-201

Las ecuaciones de cálculo del rendimiento térmico y del rendimiento calorífico de los precalentadores de tubos y separadores y de los precalentadores de cámaras, que habían sido derivadas en un trabajo anterior del mismo título, son extendidas al circuito de cru-

do entre el horno rotatorio y el precalentador. La evaluación de las ecuaciones referentes a los precalentadores de tubos y separadores muestra, en razón de los ejemplos, cómo el rendimiento térmico, el rendimiento calorífico y la temperatura del gas que sale del precalentador dependen del circuito de crudo. Muestra también la mejora del rendimiento térmico y calorífico producido por una mejor separación en una de las etapas inferiores. Cuando el gas caliente que sale del horno no contiene crudo en suspensión, se recomienda mejorar la separación en la segunda etapa de un precalentador de cuatro etapas, y en la segunda o la tercera, en uno de cinco etapas. Pero cuando el gas contiene crudo, la mejora de separación debe hacerse en la primera etapa (la más baja). No obstante, se obtiene casi el mismo resultado actuando sobre la segunda etapa.

## **utilización de un calculador para la regulación del proceso y el tratamiento de problemas técnicos y comerciales en la industria cementera**

A. HAUSSLER

Zement-Kalk-Gips, abril 1972, n.º 4, págs. 188-193

El autor ha querido demostrar que la utilización de un calculador de procesos no se limita obligatoriamente al mando y regulación del proceso, sino que puede aplicarse también a problemas de orden técnico y comercial. Además de estos últimos es todavía posible tratar otras informaciones, tales como el estudio de los tiempos, cálculo de salarios, gestión de los stocks, planing de entretenimiento de las máquinas y de las instalaciones, etc.

En las pequeñas y medianas empresas, el tratamiento de estos problemas no justifica, desde el punto de vista de la rentabilidad, una instalación tan costosa.

Las cuestiones de expedición, de carga, así como las estadísticas de fabricación y de distribución, se presentan de la misma manera en otras muchas industrias. Para la creación de los papeles de expedición y de facturación en particular, es posible obtener un cierto efecto de racionalización gracias a medios de este tipo.

Estadísticas al día, disponibles inmediatamente y rápidamente explotables, suministran informaciones importantes a la dirección de la unidad de producción y a la dirección general de la empresa.

## **los lenguajes de programación. Costes de instalación de un calculador de procesos**

D. SEEMEYER y R. REETZ

Zement-Kalk-Gips, abril 1972, n.º 4, págs. 186-187

Los tres principales lenguajes de programación, a saber, el lenguaje máquina, el lenguaje de aplicación y el lenguaje traductor de los sistemas de programa, son comparados

entre sí mediante ejemplos. Los costos de instalación son estimados. Para terminar, el autor hace resaltar la influencia que ejercen los sistemas de instalación sobre la programación y, por lo tanto, sobre los costos de instalación.

## **utilización de un calculador de procesos en fabricación de cemento**

U. PROFFT

Zement-Kalk-Gips, abril 1972, n.º 4, págs. 181-182

Cuando se introdujo la automatización compleja en la Industria cementera de la República Democrática Alemana, se partió del punto de vista de que era necesario establecer los parámetros relativos al proceso de cocción suministrados al calculador. Por otra parte, la introducción de criterios de optimización o de funciones que convienen a un proceso de molienda y de enfriamiento controlado por el calculador, debía asegurar una rentabilidad elevada.

Un calculador de procesos ha sido utilizado con éxito para la recolección y explotación cíclicas de los resultados de medida así como para la elaboración de los procesos verbales de funcionamiento, para la estabilización del crudo, en fin, para la puesta en marcha y parada de las instalaciones de molienda.

Las complejas operaciones proyectadas plantean todavía otros problemas: la regulación y la optimización de los procesos de molienda para los molinos de crudo y de cemento, la regulación y la optimización del funcionamiento de los enfriadores de parrilla.

## **homogeneización del crudo mediante un calculador de procesos**

H. O. LOCHMANN y H. SCHILLO

Zement-Kalk-Gips, abril 1972, n.º 4, págs. 177-180

Cuando se pasa de una instrumentación convencional con aparatos de medida y reguladores analógicos a un calculador digital de procesos es necesario, en mucha mayor medida, conjuntar cuidadosamente la técnica del proceso con la de automatización para que la instalación automática esté en condiciones de responder a todas las exigencias de la práctica.

Una tal armonización no podrá ser realizada si no se hace un estudio del sistema elaborado conjuntamente por los técnicos del proceso y los técnicos de la automatización.

Esta manera de proceder se explica con un ejemplo de control en continuo de la composición del crudo utilizando un calculador digital de procesos. Se trata de un sistema de control realizado ya varias veces en la fabricación de cemento, donde hizo sus pruebas. La intervención sobre la unidad de molienda que se hace necesariamente con un cierto retardo, el control se realiza sobre el contenido de un silo de homogeneización. Durante la fase de llenado del silo, el crudo se dosifica con un canalizador continuo por rayos

X. Mediante un control de este tipo, la composición química del crudo no difiere más que ligeramente de un silo de homogeneización a otro, garantizando una marcha muy regular del horno.

Se presentan ejemplos prácticos.

## **automatización de una instalación de preparación de las materias primas**

G. GRIESSHAMMER

Zement-Kalk-Gips, abril 1972, n.º 4, págs. 175-176

La utilización de un calculador de procesos para la regulación de la preparación del crudo presupone una adaptación sistemática de los programas a las características de la instalación y del yacimiento de materias primas. El autor presenta un programa de simulación y un programa de mando que podrán acelerar y mejorar esta adaptación en una gran medida.

El desarrollo del proceso y las fluctuaciones de materias primas en la homogeneización del crudo, pueden ser reproducidos en tiempo real; el comportamiento dinámico de la totalidad de la instalación puede visualizarse haciendo intervenir diferentes parámetros perturbadores.

## **la automatización en la fábrica de cemento de Limhamn (Suecia)**

C. R. FROG

Zement-Kalk-Gips, abril 1972, n.º 4, págs. 171-174

En 1967, la fábrica de Limhamn, que forma parte del grupo Cementsa, se amplió, pasando de 0,7 a 1,2 millones de t/año. Se aprovechó esta ocasión para modernizarla y automatizarla en gran parte.

Las unidades de producción han sido concentradas en dos áreas: La primera comprende la cantera y una instalación de preparación de las materias primas totalmente nueva que abastece a la fábrica de cemento y a la de cal. La segunda unidad está formada por la fábrica de cemento extendida a lo largo de 2 km y a la que pertenecen los hornos, la instalación de molienda del cemento y las instalaciones de carga y expedición.

En estas dos áreas, el control y la regulación del proceso se hacen a partir de puestos de mando llamados respectivamente "puesto central de control de materias primas" y "puesto central de control de fabricación". El autor describe la concepción de la regulación de las instalaciones.

El funcionamiento del sistema de calculador de procesos "Sistema de Courad Elliot GEC" es examinado a fondo. Este sistema es el encargado de la regulación y de la optimización, de la dosificación de los diferentes flujos de materias primas, así como de la marcha del proceso de cocción de los 5 hornos de cemento.

La experiencia adquirida hasta ahora con este sistema de regulación se da a conocer, con indicación de las desviaciones de los valores de calibrado y del tiempo de explotación. Diagramas para los valores prescritos y los valores efectivos completan estas indicaciones.

También se abordan las ventajas y los inconvenientes del sistema.

## **el empleo de un computador para la dosificación del crudo**

A. FUENTES

Zement-Kalk-Gips, abril 1972, n.º 4, págs. 167-170

El autor describe el mando automático de los constituyentes de materias primas en la fábrica de Villaluenga y explica la concepción de la regulación de la dosificación en dos tiempos. Aborda igualmente los problemas de análisis automático y sus soluciones; después presenta los resultados que permiten sacar las siguientes conclusiones:

1. Con frecuencia, la molienda de muestras de crudo es suficiente para un análisis de precisión.
2. La regulación simple de los constituyentes con toma de muestras a la salida del molino da buenos resultados cuando los constituyentes del crudo tienen una composición relativamente regular.

## **automatización en la industria cementera. Control y monitores**

W. RUHLAND

Zement-Kalk-Gips, abril 1972, n.º 4, págs. 159-163

La automatización de la industria del cemento no está todavía más que en sus comienzos. Los problemas parciales son con frecuencia resueltos con ayuda de reguladores analógicos. En casos más raros, calculadores de procesos hacen las tareas más complejas de regulación. El progreso de la automatización está todavía frenado por insuficiencia de máquinas e instalaciones, sobre todo en las fábricas de tipo antiguo, y por las posibilidades de medida que hacen falta todavía. En el campo de las medidas a las que hay que proceder en el laboratorio de química y física y que son necesarias para el control de la calidad y la regulación, el analizador por rayos X ha permitido dar un importante paso adelante. A pesar de ello, faltan todavía numerosos aparatos que puedan trabajar automáticamente.

Los calculadores de procesos ofrecidos en el mercado de hoy pueden ser concebidos para cualquier grado de automatización.

## **concepción de regulación para los hornos con precalentador**

O. WILL

Zement-Kalk-Gips, abril 1972, n.º 4, págs. 164-166

A medida que se pasa a las grandes unidades de hornos y a puestos centrales de mando, las regulaciones aseguran un desarrollo regular del proceso y descargan a los operadores; resultan cada vez más indispensables.

El autor presenta un concepto de regulación que permite mantener en los diferentes campos, tales como el precalentador, el horno rotatorio y el enfriador, condiciones estabilizadas de aporte y de evacuación de calor.

Por otra parte, en una larga gama de capacidad de producción, el mando resulta posible mediante un simple pulsador.

Este concepto de regulación se divide en una serie de circuitos de regulación clásicos y de sus reguladores de enlace adjuntos. Mientras que los circuitos de regulación fundamentales han de mantener constantes los datos establecidos, los reguladores adjuntos aseguran, por medio de estos valores de referencia, la optimización del proceso. Es importante utilizar los datos de medida representativos apropiados que caracterizan el estado térmico del sistema. Hay que prestar atención primordial a las condiciones de estabilidad en el precalentador, que deben ser reguladas con mucha precisión.

Para obtener una adaptación óptima de los diferentes circuitos de regulación en la instalación descrita, las características específicas de ésta han sido establecidas y tomadas en consideración al poner en las fichas los valores prescritos.