

- Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento -

615-34 FABRICACION DE CEMENTO PORTLAND, DE ENDURECIMIENTO RAPIDO

(The Use of Calcium Phosphate in Rapid-hardening Portland Cement).

L.D. Ershov

De: "CEMENT", nº 4, 1955 *

El cemento de endurecimiento rápido se define como aquel cemento que alcanza en un día el 50%, como mínimo, de su resistencia a los 28 días, y en tres días, el 80%. Actualmente, ninguno de los cementos que se fabrican llegan a alcanzar, en un día, más del 30% de su resistencia a los 28 días.

El endurecimiento del cemento portland puede acelerarse de diferentes formas. Una de ellas consiste en la adición de compuestos químicos, capaces de elevar la reactividad de los principales compuestos del clinker, silicatos y aluminatos cálcicos. Los hidratos de estos dos compuestos, así como el $\text{Ca}(\text{OH})_2$, constituyen los productos básicos finales de la hidratación del cemento. Por consiguiente, la velocidad de hidratación, la velocidad de crecimiento de la resistencia, y otras propiedades del cemento endurecido, son función de la actividad de estos compuestos, quedando afectadas por los cambios químicos o físico-químicos que experimentan en sus propiedades durante la hidratación.

Con el fin de estudiar por separado la influencia de estos factores y determinar su acción sobre el desarrollo de resistencia del cemento endurecido, se llevó a cabo una investigación con cuatro tipos de cemento portland, cuyas composiciones químicas y mineralógicas quedan indicadas en la tabla I.

*En "CEMENT AND LIME MANUFACTURE", vol. XXIX, nº 4, julio 1956, pág. 43

TABLA I

Cemento	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ [*] %	CaO %	3CaO.SiO ₂ %	2CaO.SiO ₂ %	3CaO.Al ₂ O ₃ %	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃ %
con alto contenido en alita	21.97	4.75	1.77	69.63	82.47	0.71	9.59	5.38
con alto contenido en belita	25.30	6.90	4.60	63.20	9.61	62.25	10.47	13.80
Aluminoso	22.30	6.95	1.95	68.00	59.32	19.20	15.60	5.85
con alto contenido en ferrita	21.20	5.35	8.35	65.10	56.39	18.25	-	25.05

En la tabla II se presentan los productos de hidratación de estos cementos, al cabo de 1, 3 y 28 días. La resistencia mayor a los 28 días se consiguió con el cemento de alto contenido en alita, y la inferior con el de alto contenido en belita.

TABLA II

Composición (determinada por cálculo) de los productos de hidratación de los cementos portland considerados

Productos de hidratación	cemento de alita				cemento de belita				cemento aluminoso				cemento de ferrita			
	1 dfa	3 dfas	7 dfas	total	1 dfa	3 dfas	7 dfas	total	1 dfa	3 dfas	7 dfas	total	1 dfa	3 dfas	7 dfas	total
Ca(OH) ₂	6.0	12.0	20.0	25.0	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	8.0	13.0	18.0	4.0	8.5	13.0	18.0
2CaO.SiO ₂ .H ₂ O	13.0	25.0	42.0	58.0	3.5	7.0	18.0	28.0	10.0	20.0	33.0	56.0	8.0	17.0	33.0	56.0
3CaO.Al ₂ O ₃ .6H ₂ O	11.0	12.0	13.0	14.5	13.5	17.0	18.0	23.0	15.0	18.0	21.0	23.0	8.0	10.5	13.0	14.0
CaO.Fe ₂ O ₃ .H ₂ O	1.0	1.0	2.0	2.5	2.5	3.0	4.0	6.0	1.0	1.0	1.5	2.5	5.0	6.0	8.0	12.0
clinker sin descomponer.	69.0	50.0	23.0	-	80.0	72.0	58.0	-	70.0	53.0	31.5	-	75.0	58.0	33.0	-

Estas dos tablas indican que, al principio de la hidratación, las cantidades de hidróxido cálcico y de silicato cálcico hidratado son mucho mayores en el cemento de alto contenido en alita que en los restantes; pero, en cambio, el contenido en aluminatos hidratados y de Fe_2O_3 hidratado es menor en aquel tipo de cemento que en los restantes. Todo esto indica que las cantidades relativas de hidróxido cálcico y de silicato cálcico en los productos de hidratación pueden utilizarse como un criterio del desarrollo de la resistencia al cabo de 1 y 3 días.

Puesto que el silicato tricálcico puede considerarse como la principal fuente de hidróxido cálcico y de silicato cálcico en la fase inicial de la hidratación, el porcentaje de silicato tricálcico en el clínker, o, para ser correcto, la relación de C_3S a C_2S , se puede considerar como un factor importante en el desarrollo de resistencia a edades superiores. Esta relación se define como "módulo de intensidad". Cuanto mayor es su valor, tanto mayor será la resistencia del cemento a edades superiores. Con el fin de poner de manifiesto que esta suposición era correcta, se investigaron diez clínkeres diferentes, (tabla III) con módulos de intensidad que variaban desde 3 a 20. La tabla IV pone de manifiesto que, a 24 horas, un aumento del módulo de intensidad de 3 a 20 determina un aumento de la resistencia a compresión de 180 400 Kg/cm^2 . Es, pues, evidente que interesa un módulo de intensidad lo mayor posible. (Ver página siguiente).

Teniendo en cuenta las dificultades con que se tropieza para fabricar un clínker con un contenido elevado en alita, se añadieron productos químicos capaces de modificar la velocidad de hidratación. Las investigaciones realizadas pusieron de manifiesto que, -

TABLA III

Composición mineralógica de los clínkeres ensayados

Clínker nº	Relaciones (%)			Composición calculada (%)			
	$\frac{C_3S}{C_2S}$	$\frac{C_3A}{C_4AF}$	$\frac{C_2S + C_3S}{C_3A + C_4AF}$	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
1	3	0,33	4	60,0	20,0	5,00	15,00
2	3	3,00	4	60,0	20,0	15,00	5,00
3	5	0,33	4	66,7	13,3	5,00	15,00
4	5	3,00	4	66,7	13,3	15,00	5,00
5	10	0,33	3	68,2	6,8	6,25	18,75
6	10	3,00	3	68,2	6,8	18,75	6,25
7	15	0,33	3	70,3	4,7	6,25	18,75
8	15	3,00	3	70,3	4,7	18,75	6,25
9	20	0,33	5	79,4	4,0	4,2	12,40
10	20	3,00	5	79,4	4,0	12,4	4,2

TABLA IV

Resistencia de los clínkeres sintéticos

Clínker nº	Resistencia a compresión (kg/cm ²)				Resistencia a tracción (kg/cm ²)			
	1 día	3 días	7 días	28 días	1 día	3 días	7 días	28 días
1	180	290	514	605	23,9	25,4	26,9	32,1
2	225	336	506	619	25,1	27,2	29,8	33,7
3	237	391	509	625	24,9	28,6	28,9	32,2
4	260	406	502	640	26,9	28,7	29,3	34,1
5	283	422	601	679	26,7	29,0	31,9	36,1
6	334	482	649	771	29,7	32,1	36,2	44,1
7	325	435	602	751	28,8	31,7	36,4	40,6
8	395	524	673	815	33,1	35,6	40,5	47,5
9	350	493	642	743	30,5	36,3	35,1	40,2
10	400	536	671	805	29,1	34,6	33,9	42,1

añadiendo $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ a la pasta cruda, el clinker resultante contenía un contenido elevado en fosfato cálcico que, como tal o en solución sólida con el silicato tricálcico, podían modificar intensamente el fraguado del cemento.

En la tabla V se presentan los datos concernientes a la influencia del contenido en P_2O_5 .

TABLA V

Efecto del P_2O_5 sobre la resistencia del cemento

Contenido en P_2O_5 en el cemento	Resistencia a compresión (kg/cm^2)			
	1 día	3 días	7 días	28 días
0,0	118	266	380	535
0,1	258	370	481	625
0,2	352	463	560	745
0,3	319	388	495	655
0,5	201	261	374	538
1,0	54	106	202	388
2,0	52	84	150	214
3,0	35	73	107	105
5,0	0	27	58	72

Se observó que una pequeña cantidad (0,2 0,3%) de P_2O_5 en el clinker tenía un efecto extraordinariamente grande sobre la hidratación y desarrollo de la resistencia, no sólo inicial sino también a los 28 días.

S. F. S.