

- 3 -

estudio de la primera revista.

En todas estas consideraciones se han omitido algunos países, ya sea por no tener Normas nacionales para el cemento Portland (Bolivia, Irán y ciertas repúblicas de América Central), o por adoptar las de otras naciones: Austria (como Alemania), - Egipto (II, como Inglaterra, 1947), India (II, como Inglaterra, 1947), Islandia (II, como Dinamarca, 1933), Jamaica (II, como Inglaterra, 1947), Luxemburgo (como Bélgica), Nueva Zelanda (como Inglaterra), Paraguay (como Argentina), Perú (como Estados Unidos) y Sudáfrica (II, IV, como Inglaterra, 1947).

IIa.- COMPOSICION QUIMICA

En la tabla I, "Composición química", que se incluye a continuación, se consideran los distintos módulos (relación de cal a los otros óxidos, etc.) que se tienen en cuenta, las cantidades máximas permitidas de óxido magnésico, anhídrido sulfúrico, residuo insoluble, pérdida al fuego y adiciones al cemento Portland.

Los módulos que se tienen en cuenta al fijar la composición química del cemento Portland en los distintos países, que dan definidos por las siguientes expresiones:

a) módulos hidráulicos:*

* Las abreviaturas empleadas en este artículo son:

$C = CaO$ $S = SiO_2$ $A = Al_2O_3$ $F = Fe_2O_3$ $Mn = Mn_2O_3$ $R =$
 $= R_2O_3 = Al_2O_3 + Fe_2O_3$ $C_3A = 3 CaO \cdot Al_2O_3$ $C_3S = 3 CaO \cdot SiO_2$
 $C_2S = 2 CaO \cdot SiO_2$ $C_4AF = 4 CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$
 C_3A, C_3S, C_2S y C_4AF se calculan por las fórmulas de Bogue

$$MH\ 1 = \frac{C}{S+A+F} \quad MH\ 2 = \frac{C}{S+R} \quad MH\ 3 = \frac{C}{S+A+F+MnO_2}$$

$$MH\ 4 = \frac{C - 0'7SO_3}{S+A+F+Mn_2O_3}$$

b) grado de saturación en cal

$$GS\ 1 = \frac{C - 0'7\ SO_3}{2'8S+1'2A+0'65F} \quad GS\ 2 = \frac{C - 0'7\ SO_3}{2'4S+1'2A+0'65F}$$

$$GS\ 3 = \frac{C - 0'7\ SO_3}{1'9S+1'2A+0'65F}$$

c) módulo silíceo

$$MS\ 1 = \frac{S}{A+F} \quad MS\ 2 = \frac{S}{A}$$

d) módulo aluminico o de fundentes

$$MA = \frac{A}{F}$$

e) módulo férrico

$$MF = \frac{F}{A}$$

No todos los países, entre los que podemos citar Alemania, Australia, Bélgica, Brasil, Finlandia, Francia, Japón, Polonia, Portugal, Rumania, Rusia, Suecia, Uruguay y Venezuela, establecen módulos. Ahora bien, los que utilizan módulos o índices, no tienen uniformidad de criterio en su adopción, como ya se prevé al observar las diferentes expresiones definidas para -

TABLA I.- Composición química

Países	Tipo cemento	Módulos	Contenido máximo				Adiciones
			MgO	SO ₃	Residuo insoluble	Pérdida al fuego	
Alemania (1942)	I II III	-	5'0	3'0	-	5'0	1'0
Arabia Saudita (1948)	II	MA 0'7-2'0	5'0	2'0	0'75	3'0	
Argentina (1947)	II IV	MHT > 1'7	4'0	2'5	1'0	3'0	nada
Australia (1948)	II IV	-	4'0 (± 0'25)	2'75 (± 0'10)	2'0 (± 0'15)	3'0 (± 0'15)	nada
Bélgica (1949)	II III IV	-	3'0	3'0	-	-	nada
Brasil (1937)	II	-	6'0 (± 0'40)	2'5 (± 0'15)	0'85 (± 0'15)	4'0 (± 0'30)	nada
(1940)	IV	-	5'0 (± 0'30)	2'5 (± 0'15)	0'85 (± 0'15)	4'0 (± 0'30)	1'0
Bulgaria (1941)	II IV	MH > 1'7	5'0	3'0	-	5'0	3'0
Canadá (1951)	II	-	5'0	2'5 - 3	0'7	3'0	1'0
(1951)	IV	-	5'0	3 - 3'5	0'7	3'0	1'0
(1951)	VIII	MS1 < 2'8 MF < 1'3	4'0	2'5	0'7	3'0	1'0

- 5 -

País	Tipo cemento	Módulos	Contenido máximo				Adiciones
			MgO	SO ₃	Residuo insoluble	Pérdida al fuego	
Checoslovaquia (1947)	II	MH1 > 1'7	6'0	3'0	-	-	nada
	IV						
Chile (1941)	II	MH4 > 1'7	3'0	2'0	1'5	3'0	nada
	III						
China (1934)	II	-	4'0	2'75	1'0	4'0	nada
Dinamarca (1933) (1942)	II	MH1 > 1'8	3'0	-	-	-	3'0
	IV		3'0	3'0 (± 0'2)	-	-	6'0
España (1943)	II	MH1 1'8-2'3 MS2 > 2'5	5	2'5	1'5	4'0	3'0
	IV						6'0
Estados Unidos Normas Federales (1954)	II	-	5'0	2'5 - 3'0	0'75	3'0	1'0
	IX	-	5'0	2'5	0'75	3'0	1'0
	VII	-	5'0	2'5	0'75	3'0	1'0
	IV	-	5'0	3'0 - 3'0	0'75	3'0	1'0
	VIII	-	4'0	2'3	0'75	3'0	1'0
	V	-	5'0	2'5	0'75	3'0	1'0
Normas A.S.T.M. (1953)	II	-	5'0	*	0'75	3'0	1'0
	IX	-	5'0	*	0'75	3'0	1'0
	VII	-	5'0	*	0'75	3'0	1'0
	IV	-	5'0	*	0'75	3'0	1'0
	VI	-	5'0	*	0'75	2'3	1'0
	VIII	-	4'0	2'3	0'75	3'0	1'0

191

País	Tipo cemento	Módulos	Contenido máximo				Adiciones
			MgO	SO ₃	Residuo insoluble	Pérdida al fuego	
Finlandia (1945)	II	-	5'0	-	-	-	15
	IV	-	5'0	-	-	-	3
	VI	-	5'0	-	-	-	15
Francia (1950)	II	-	-	-	-	-	-
	IV	-	5'0	3'0	3'0	4'0	nada
	V	-	-	-	-	-	-
Holanda (1950)	II	-	-	-	-	-	-
	IV	MH1 > 1'7	5'0	3'0	3'0	-	nada
Hungría (1935)	II	-	-	-	-	-	-
	IV	MH3 > 1'8	5'0	3'0	2'0	5'0	nada
Inglaterra (1947)	II	GS1 0'66-1'2	-	-	-	-	-
	IV	MA > 0'66	4'0	2'75	1'0	3'0	nada
	VI	GS2 < 1'0	-	-	-	-	-
		GS3 > 1'0 MA > 0'66	4'0	2'75	1'0	3'0	nada
Irlanda (1946)	II	GS1 0'66-1'0	-	-	-	-	-
	IV	MIF > 1'5	4'0	2'75	1'0	4'0	nada
Italia (1939)	II III	MH2 > 1'7	3'0	2'5	1'5	5'0	nada
Japón (1941)	II	-	-	-	-	-	-
	IV	-	3'0	2'0	-	4'0	nada

- 7 -

País	Tipo cemento	Módulos	Contenido máximo				Adiciones
			MgO	SO ₃	Residuo insoluble	Pérdida al fuego	
Méjico (1946)	II		4'0	**	0'75	3'0	1'0
	IV		4'0	**	0'75	3'0	1'0
	VII	MA 0'7 - 2'0	4'0	**	0'75	3'0	1'0
	IX	MA 0'7 - 2'0	4'0	**	0'75	3'0	1'0
	VI	MA 0'7 - 2'0	4'0	**	0'75	2'3	1'0
	VIII	MA 0'7 - 2'0	4'0	**	0'75	2'5	1'0
Noruega (1934)	II		4'0	2'75	1'5	4'0	nada
	IV	MA 1'7 - 2'4	4'0	2'75	1'5	4'0	nada
Palestina (1947)	II	GS1 0'67-1'0	4'0	2'75	1'0	4'0	nada
	IV	MF > 1'5	4'0	2'75	1'0	4'0	nada
Polonia (1950)	II	-	5'0	3'0	-	5'0	nada
	III	-	5'0	3'0	1'5	3'0	nada
Portugal (1930)	I	-	4'0	2'5	1'5	4'0	nada
	II	-	(± 0'40)	(± 0'10)	(± 0'15)	(± 0'30)	nada
	VI	-	5'0	2'0	0'75	2'3	nada
	VIII	MH1 1'8 - 2'2	3'0	2'0	1'5 (± 0'15)	4'0 (± 0'30)	nada
Rumania (1934/49)	II	-	5'0	3'0	5'0	4'0	
	III	-	2'5	2'5	1'0	4'0	1'0
	IV	-	2'5	2'5	1'0	4'0	1'0
Rusia (1941)	todos	-	4'5	2'5	-	5'0	15 1

I
∞
I

Países	Tipo cemento	Módulos	Contenido máximo				Adiciones
			CaO	SO ₃	Residuo insoluble	Pérdida al fuego	
Suecia (1943)	II		-	-	-	-	3'0
	IV		-	-	-	-	3'0
	VI		-	-	-	-	3'0
Suiza (1953)	II	MH2 > 2'0	5'0	3'2	2'0	4'0 - 5'0	-
	III		5'0	3'5	2'0		-
Turquía (1937)	II	MH1 > 2'0	4'0	2'5	0'85	3'0	3'0
	IV						
Uruguay (1945)	II	-	4'0	2'5	0'85	3'0	1'0
	IV						
Venezuela (1941)	II	-	5'0	2'0	0'75	3'0	-
Yugoslavia (1931/48)	II	MH2 > 1'7	5'0	3'0	-	-	nada
	III						

* Ver nota referente a Estados Unidos (Pág. 11)

* Ver nota referente a Méjico (Pág. 12)

- 6 -

aquéllos.

Algunos países (Argentina, Checoslovaquia, Dinamarca, España, Holanda, Italia, Portugal -en el caso del cemento resistente a los sulfatos-, Suiza, Turquía y Yugoslavia) mantienen el concepto de módulo hidráulico, definido por la expresión:

$$MH 1 = \frac{C}{S+A+F} \quad \text{ó} \quad MH 2 = \frac{C}{S+R}$$

fijando su valor mínimo en 1'7 ó 1'8 (Suiza y Turquía fijan un valor mínimo de 2'0), pudiendo oscilar entre dicho valor mínimo y 2'2 (Portugal), 2'3 (España). Otros países incluyen el óxido de manganeso, ya sea como MnO_2 (Hungría, -con un valor mínimo de 1'8) o como Mn_2O_3 (Chile, con valor mínimo de 1'7).

Hemos de hacer constar que, en el caso de MH, la bibliografía consultada, ofrece divergencias en el caso de Bulgaria y Noruega. Para el primero, la revista alemana "Silikattechnik" y la inglesa "Cement and Lime Manufacture" fijan respectivamente los módulos siguientes:

$$\frac{C}{S+A+F+MnO_2} \quad \text{y} \quad \frac{C}{S+A+F}$$

En el caso de Noruega, ambas revistas establecen los módulos:

$$\frac{C}{S+A+F+MnO_2} \quad \frac{C}{S+A+F+Mn_2O_3}$$

Otros países consideran que es necesario descontar, en el módulo hidráulico, la cal combinada con el anhídrido sulfúrico, empleando, en vez del módulo hidráulico, el grado de saturación en cal (Inglaterra, Irlanda y Palestina) con valores comprendidos entre 0'66 y 1'2.

Junto a estos requisitos para el contenido en cal, se

fija en algunos países, especialmente para los cementos especiales, el valor del módulo silíceo, aluminico y férrico.

El módulo silíceo es utilizado en Canadá (MS 1), con un valor de 2'8, en el caso de un módulo férrico inferior a 1'3, y España (SM 2) con un valor superior a 2'5. Chile establece que, para el agua de mar, el módulo silíceo (MS 1) debe ser superior a 2'2.

El módulo aluminico es empleado en Arabia Saudita, Inglaterra y Méjico.

Como ya hemos indicado, junto a los módulos, se fijan los contenidos máximos de óxido magnésico, anhídrido sulfúrico, residuo insoluble y pérdida al fuego (los valores dados entre paréntesis en la tabla I indican las tolerancias permitidas), que cada país considera necesario.

El contenido máximo de óxido magnésico oscila entre 2'5 y 6%. Chile fija que, para agua de mar, el contenido máximo de óxido magnésico ha de ser menor que 2%; únicamente, Suecia no establece ningún valor.

El contenido máximo de anhídrido sulfúrico varía entre 2 y 3'5% en los diferentes países; Dinamarca (para el cemento Portland corriente), Finlandia y Suecia no determinan ningún valor.

Canadá establece que si la cantidad de C_3A no es menor del 9%, la máxima cantidad de anhídrido sulfúrico ha de ser 3%, para el cemento Portland corriente, y 3'5 en el cemento de rápido endurecimiento; si la cantidad de C_3A es menor que 9%, la cantidad máxima de anhídrido sulfúrico ha de ser 2'5% en el cemento Portland ordinario y en el resistente a los sulfatos, y 3% en el cemento de rápido endurecimiento.

Los valores dados en la tabla I para los contenidos máximos de anhídrido sulfúrico permitido en los Estados Unidos

(Normas Federales), corresponden, respectivamente, a los casos en que la cantidad de C_3A sea menor o superior a 8%. Las Normas ASTM fijan la cantidad máxima de sulfato cálcico, en el mortero de cemento Portland hidratado, a las $24 \pm 1/4$ h, expresado en gramos de SO_3 por litro. Los valores son 0'50 para todos los tipos de cemento.

En Méjico, para el contenido de álcalis, C_3A y superficie específica, se consideran como valores mínimos de influencia mayor 0'8%, 8% y $1.800 \text{ cm}^2/\text{g}$, respectivamente. Un cemento Portland que haya de satisfacer los requisitos establecidos por las Normas de dicho país para alguno de los tipos considerados, deberá presentar un contenido de anhídrido sulfúrico que no exceda de 3'5%, 3'0%, 2'5% ó 2'0%, según que en él se excedan, respectivamente, tres, dos, uno o ninguno de los valores mínimos de influencia mayor indicados. El contenido de anhídrido sulfúrico de cualquier cemento no deberá ser menor que la diferencia que resulte de restar 1% del valor máximo permisible que le corresponde.

En España, la suma de óxido magnésico y de anhídrido sulfúrico ha de ser inferior a 6'5%.

La mayoría de los países fijan para el residuo insoluble, valores comprendidos entre 0'75 y 5'0%. Bélgica, Checoslovaquia, Dinamarca, Finlandia, Japón, Polonia (para el cemento Portland corriente), Rusia, Suecia y Yugoslavia no fijan ningún valor.

La pérdida al fuego oscila para los diferentes países entre 2'3 y 5'0%. Bélgica, Checoslovaquia, Dinamarca, Finlandia, Holanda, Suecia y Yugoslavia, no establecen ningún valor.

Inglaterra fija el valor límite en 4%, para los países calurosos. Rusia especifica, en el caso de cemento de horno vertical, que la pérdida al fuego, ha de ser, como máximo, 7%. Sui-

za distingue según se trate de cemento fresco (4'0%) o en la obra (5'0%).

En España, el azufre total no será superior a 1'25% y el agua ha de ser menor que el 2%, en peso de cemento.

El contenido en álcalis no queda fijado en todos los países; en general, el valor límite oscila entre 0'8 y 1'2.

Estados Unidos (Normas Federales) establece, siempre que así lo exige el comprador, que el contenido en álcalis para todos los tipos de cementos Portland ha de ser inferior a 0'60%. Méjico, por su parte, fija los valores 1'2, 1'2, 0'9, 0'9, 0'8 y 0'9%, respectivamente, para los tipos de cemento ordinario, de rápido endurecimiento, de calor de fraguado moderadamente bajo, de resistencia a los sulfatos moderadamente baja, de bajo calor de fraguado y resistente a los sulfatos.

"El problema de las adiciones al cemento, sin variación del nombre de cemento Portland, se ha resuelto en muchos países, negativamente: el cemento debe ser puro y sin adiciones, y, únicamente, se permiten las que sirven para regular el tiempo de fraguado" (en la tabla I, las adiciones permitidas no incluyen el agua y el sulfato cálcico, añadido para regular el tiempo de fraguado, excepto cuando se indique lo contrario).

Entre los países que no admiten ninguna adición se encuentran Argentina, Bélgica, Brasil (para el cemento Portland ordinario), Checoslovaquia, Chile, China, Francia, Holanda, Hungría, Inglaterra, Irlanda, Italia, Japón, Noruega, Palestina, Polonia, Portugal y Yugoslavia.

Las adiciones permitidas por Dinamarca y Turquía incluyen el yeso. En España, según el Pliego vigente, el cemento Portland ordinario no debe tener más adición que yeso, sin que exceda de 3%; en el caso del supercemento, las adiciones (incluyendo yeso) no deben exceder del 6%.

Rumania específica, para el cemento ordinario y para el de alta resistencia, que las adiciones serán sustancias con propiedades hidráulicas, siempre que no excedan el valor de residuo insoluble fijado. Rusia permite un 15% de adiciones hidráulicas y un 1% de adiciones extrañas.

Iib.- COMPOSICION MINERALOGICA

El análisis químico de un cemento nos proporciona - unos valores de los elementos determinados, expresados al estado de óxidos; de ninguna manera quiere indicar que dichos óxidos se encuentren presentes en el cemento como tales, y como - las propiedades del cemento dependen de su composición mineralógica, y no de su constitución química, es evidente que será muho más interesante el conocimiento de la composición mineralógica del cemento que el de su constitución química.

El conocimiento que se ha adquirido, recientemente, sobre la composición del clinker de cemento Portland, por aplicación al estudio del mismo de técnicas físicas delicadas, nos permite deducir, de un modo bastante aproximado, la composición mineralógica del clinker, a partir de los datos que nos suministra el análisis químico; y a pesar de las incertidumbres - que llevan consigo, los métodos de cálculo tienen un significado máximo.

El cálculo de la composición potencial puede reali - zarse por medio de las fórmulas de Bogue:

$$\begin{aligned} \text{Silicato tricálcico} &= (4'07 \times \% \text{ de CaO}) - (7'60 \times \% \text{ de SiO}_2) - \\ &- (6'72 \times \% \text{ de Al}_2\text{O}_3) - (1'43 \times \% \text{ de Fe}_2\text{O}_3) - (2'85 \times \\ &\quad \times \% \text{ de SO}_3). \end{aligned}$$

$$\text{Silicato dicálcico} = (2'87 \times \% \text{ de SiO}_2) - (0'754 \times \% \text{ de } 3 \text{ CaO.SiO}_2)$$