

Los concretos en que se usó cemento resistente al sulfato, de alta resistencia inicial y el Ciment Fondu fueron reconocidos por el Sr. McKinney como teniendo un comportamiento superior al del cemento Portland normal y al cemento Lumnite.

SELECCION DEL TIPO DE CEMENTO EN LA CONSTRUCCION MARITIMA CONTEMPORANEA.

En la Tabla 4 se observan análisis típicos de cementos Portland recientemente producidos en la Región Atlántica. Es interesante señalar que el contenido de C3A del cemento Portland utilizado en esa región, es del orden del 12% y este valor no ha variado substancialmente en los últimos 60 años (3). Enfocando nuestra atención en construcciones marítimas más recientes, ahora examinaremos estructuras de este tipo, terminadas dentro de la última década. Uno podría fácilmente concluir que en vista del experimento conducido en el Puerto St. John en New Brunswick, los ingenieros diseñadores podrían especificar uno de los cementos especiales descritos anteriormente. El Puente Murray McKay (Figura 7) y el Muelle C para líquidos (Figura 8) fueron construidos con cemento Portland elaborado localmente con un promedio de 11.5% de contenido de C3A. Con la extensa investigación sobre este tema, del deterioro de las construcciones marítimas causamos cuál será la razón por la cual los ingenieros diseñadores seleccionaron estos concretos. Estudios anteriores sobre este problema, posiblemente tuvieron algunas influencias sobre tales decisiones. La Dra. Regourd (9) resume que es difícil deducir una correlación entre los tipos de cemento y la resistencia al agua de mar. Dos cubos de prueba fueron sumergidos en agua de mar desde 1903 y se ha observado que están en buenas condiciones, uno contenía un 2.4% de C3A y el otro un 14.9%. Ella atribuye la buena condición de los cubos al hecho de su alta concentración de cemento (600 kg/m³).

El valor del aire incluido en condiciones de congelamiento y deshielo, y la frecuencia del agrietamiento lineal del concreto con cementos que contienen de 2.5% a un 5% de C3A fueron reportados por el Sr. Verbeck en Abril de 1967, lo cual proporciona antecedentes para la construcción marítima contemporánea en cuanto a la selección de cementos Portland normales elaborados localmente. El Sr. Cook (11) nos informa que el uso de cemento con un exceso de un 12% de aluminato tricálcico no es durable en agua de mar tibia, pero que el efecto químico en agua con bajas temperaturas es esencialmente insignificante.

DESARROLLOS RECIENTES EN LA COMPOSICION DEL CEMENTO

Los cementos Portland elaborados en Canadá, están controlados en cuanto a la calidad por la Asociación Canadiense de Normas y un nuevo cambio importante es la opción de intermoler hasta un 5% de piedra carbónica de alta calidad con el clinker de cemento Portland, la cual es apropiada en la producción de cemento.

Se acumuló fuerte evidencia para mostrar que dichos agregados beneficiaban las propiedades de la mezcla y del concreto, (12), Tabla 4-5. Entre es-

tas propiedades están el incremento en resistencia y manejabilidad, en resistencia al congelamiento y deshielo y mejor resistencia al sulfato.

RESUMEN

Aunque se pueden lograr algunas ventajas en la alteración de la química del cemento en relación con la durabilidad del concreto en ambientes marítimos, como en el experimento del Puerto St. John, los ingenieros en la Región Atlántica de Canadá, generalmente están de acuerdo en que buenas técnicas de construcción, en que se prevea la protección de las superficies expuestas incluyendo el recubrimiento adecuado del acero de refuerzo producirá estructuras marítimas con durabilidad adecuada.

La falla del concreto en estos ambientes debido a las pobres técnicas de colado, en oposición a los efectos de la reacción química del agua de mar con ciertos compuestos del cemento, aún queda como una controversia e investigación hasta la fecha.

El colado en agua fría de mar se ha mostrado que es menos sensible al ataque químico (11) y los ingenieros de esta región, tienden a confiar en producir un concreto denso de alta calidad, con un alto contenido de cemento, para reducir los ductos capilares de las estructuras marítimas, y por lo mismo minimizar el ataque químico.

RECONOCIMIENTOS

El autor reconoce la valiosa contribución de las siguientes personas en la preparación de este trabajo: Al Dr. W. S. Weaver, a los Sres. C. J. Flemming, R. King y H. L. Isabelle de la Sociedad La Farge de Cemento Canadá, al Prof. T. W. Bremer de la Universidad de New Brunswick y al Sr. V. Johnson, ingeniero del Puerto Halifax.

Tabla 1.- Comparación del cemento Portland y cementos especiales usados en la región del Atlántico durante el período 1900-1950.

	Cementos Portland típicos 1921-1922			Cementos de alúmina 1922-1925		
	Cemento blanco inglés %	Cemento francés alemán %	Cemento típico americano %	Símbolo químico	Cemento Fondu %	Cemento Atlas Lumite %
Sílica SiO ₂	23.22	23.00	21.74	SiO ₂	8.31	8.82
Oxido de fierro Fe ₂ O ₃	2.90	2.51	3.05	Fe ₂ O ₃	11.10	14.09
Oxido de fierro FeO	-	-	-	FeO	2.60	-
Alúmina Al ₂ O ₃	7.02	7.18	6.60	Al ₂ O ₃	40.94	36.42
Oxido de Calcio CaO	62.38	63.60	61.96	CaO	35.99	37.22
Magnesia MgO	1.48	1.04	1.43	MgO	0.71	0.72
Anhídrido sulfúrico SO ₃	1.35	0.45	1.70	SO ₃	0.12	0.65
Pérdida por ignición	1.56	1.17	1.20	Pérdida por ignición	0.06	2.00
Total	99.91	99.95	99.50	Total	99.83	99.93

	Cementos Portland típicos 1921-1922		Cementos de alúmina 1922-1925	
	Promedio de cuatro cementos canadienses %	Promedio de cuatro cementos americanos %	Símbolo químico	Cemento Atlas Lumite %
Sulfato de calcio (CaSO ₄)	2.30	2.30	SO ₃	0.65
Aluminato ferrito tetracálcico (4CaO. Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃)	8.81	8.81	Pérdida por ignición	2.00
Aluminato tricálcico (3CaO. Al ₂ O ₃)	13.70	13.70	Total	99.93
Silicato tricálcico (3CaO. SiO ₂)	22.22	22.22		
Silicato dicálcico (2CaO. SiO ₂)	49.84	49.84		

Fuente: El Desarrollo de Cementos Especiales - A. G. Fleming

Tabla 2.- Primera Especificación Británica 1904

Composición química	
La proporción de cal a sílica y alúmina no deberá ser mayor que la relación representada por:	
$\frac{\text{SiO}_2}{\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3} = 2.74$	
Los residuos insolubles no excederán del 1.5%	Ensaye con cemento puro - Resistencia
La magnesia no excederá del 3.0%	7 días - 28 kg/cm ²
El anhídrido sulfúrico no excederá del 2.5%	28 días - 35 kg/cm ²
* Briquetas (muestras) preparadas de 1 parte de cemento a 3 partes de arena estándar seca.	Ensaye de arena - Resistencia
	7 días - 8 kg/cm ²
	28 días - 16 kg/cm ²

Fuente: Cien años del cemento Portland - A. C. Davis.

Tabla 4.- Cementos de la Región del Atlántico 1979

	Portland ordinario Tipo 10	Portland de bajo álcali	Alta Resistencia Inicial	Resistente a los sulfatos	Cemento de mampostería
Sílica (SiO ₂)	20.92	21.11	20.97	22.20	15.28
Alúmina (Al ₂ O ₃)	5.51	6.14	6.23	3.50	4.12
Oxido de fierro (Fe ₂ O ₃)	2.27	2.13	2.12	4.60	1.49
Oxido de calcio (CaO)	63.93	64.38	63.34	63.20	55.48
Magnesia (MgO)	1.53	1.44	1.31	2.30	1.08
Anhídrido sulfúrico (SO ₃)	3.73	3.21	4.15	1.90	1.87
Oxido de sodio (Na ₂ O)	0.22	0.04	0.10	-	0.02
Oxido de potasio (K ₂ O)	0.89	0.51	1.37	0.72	1.07
Pérdida por ignición	1.31	0.76	0.48	0.40	19.55
Aluminato ferrito tetracálcico (C ₄ AF)	6.9	6.5	6.4	14.1	-
Aluminato tricálcico (C ₃ A)	10.8	12.6	12.9	1.4	-
Silicato tricálcico (C ₃ S)	49.9	46.1	40.9	52.9	-
Silicato dicálcico (C ₂ S)	21.1	25.3	28.6	24.0	-
Malla 200 75 micras	94.6	93.3	99.3	96.8	-
Area de la superficie específica (Blaine) m ² /kg	332	328	502	321	707
Tiempos de fraguado (Vicat inicial) - minutos	150	120	90	215	95
Resistencia a la compresión MPa					
3 días	21.8	23.2	22.5*	15.3	7.0
7 días	27.1	32.3	32.4**	20.6	8.6
28 días	34.9	42.2	44.7	33.3	10.1

* 1 día
** 3 días

Tabla 3.- Reporte de un ensaye de cemento enviado para la construcción de la Terminal I.C.R., 1915, Puerto de Halifax.

Form 739-1000-2-14

PLANT NO. _____

TEST NO. *Halifax Can # 16461*

DATE *Oct 31 1975*

LONG TIME TESTS # *8700*

SETTING TIME: GILMORE: INITIAL *2'20"* FINAL *5'00"*

VICAT: INITIAL _____ FINAL _____

ACCELERATED FINENESS % THRU: 100 _____ 200 _____

SP. GR. *1.98*

% WATER BRICKETTES: NEAT *1.3*

KIND SAND USED: *Standard*

STORAGE TEMP. AIR _____ WATER *68-75*

TEMP.	NOR. CON.	GILMORE INITIAL	GILMORE FINAL	VICAT INITIAL	VICAT FINAL
AIR		<i>2'20"</i>	<i>5'00"</i>		
H2O					

NEAT	24 HRS. 2-SMTS	7 DAYS	28 DAYS	3 MOS.	6 MOS.	1 YR.	2 YRS.	3 YRS.	5 YRS.
AVERAGE	<i>310</i>	<i>635</i>	<i>685</i>	<i>661</i>	<i>787</i>				
1-3 SAND	<i>305</i>	<i>600</i>	<i>651</i>	<i>662</i>	<i>706</i>				
AVERAGE	<i>291</i>	<i>610</i>	<i>656</i>	<i>700</i>	<i>745</i>				
1-3 SAND	<i>302</i>	<i>615</i>	<i>657</i>	<i>677</i>	<i>744</i>				
AVERAGE	<i>235</i>	<i>552</i>	<i>579</i>	<i>561</i>	<i>440</i>				
1-3 SAND	<i>215</i>	<i>542</i>	<i>557</i>	<i>550</i>	<i>393</i>				
AVERAGE	<i>257</i>	<i>528</i>	<i>550</i>	<i>550</i>	<i>450</i>				
1-3 SAND	<i>235</i>	<i>541</i>	<i>550</i>	<i>550</i>	<i>412</i>				

CHEMICAL ANALYSIS: SiO₂ *21.52%*, Al₂O₃ *6.26%*, Fe₂O₃ *2.84%*, CaO *60.62%*, MgO *2.28%*, SO₃ *1.69%*, LOI₆ *2.53%*, TOTAL *98.76%*, Sp. Gr. *3.1573*

REMARKS: *hard wood 0.25*
autoclave 500°C

CHIEF CHEMIST

