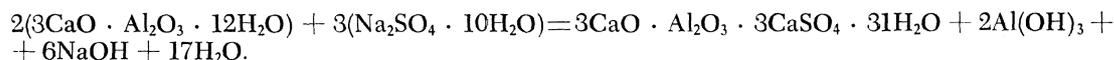
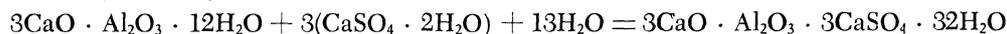


INTRODUCCION

El actual perfeccionamiento y desarrollo de la técnica de construir requiere, hoy en día, de los materiales a emplear en dicho campo, unas determinadas características previamente fijadas. En lo que al cemento se refiere, el constructor español cada día presta más atención a la calidad y al empleo racional de cada uno de los tipos de cemento que se fabrican, con el fin de lograr la mayor garantía de las obras dentro, claro está, de una mayor economía, pues es indudable que empleando en cada caso el aglomerante más indicado se logra una serie de ventajas de todo tipo, sobre todo en lo referente a la calidad y economía, dado que estos dos factores están íntimamente ligados y mucho más en aquellos casos en que las averías producidas por la corrosión al hormigón obligan a reparaciones posteriores.

El agente químico más frecuentemente responsable del ataque al hormigón es el yeso. En nuestro país, el yeso, debido al frecuente afloramiento (ocupa una tercera parte de la superficie del suelo español), origina graves problemas.

Los sulfatos de cal, sodio, potasio y amonio, entre otros, reaccionan con el hidróxido cálcico liberado en la hidratación de los constituyentes del cemento formando sulfato cálcico, y con el aluminato tricálcico formando el sulfoaluminato cálcico expansivo. Es decir, que las reacciones que se producen pueden ser formuladas de la siguiente manera: Tomemos, como ejemplo, las reacciones correspondientes al sulfato sódico:



En el caso del sulfato sódico, la última reacción sólo avanza en el caso de existir un exceso de sulfato sódico. El sulfato cálcico produce únicamente la segunda reacción. El sulfato magnésico reacciona de igual forma, pero además descompone los silicatos hidratados de calcio.

La formación, en un mortero u hormigón, del sulfoaluminato cálcico, va unida a una fuerte expansión, la cual es causa de pérdida de cohesión y dureza de la masa atacada, pérdida capaz de producir daños en cuya cuantía influye el grado de agresividad del medio a que ha estado expuesto y, naturalmente, del tiempo de exposición al ataque.

En España, los canales, acequias y demás conducciones de agua sufren frecuentes e inesperadas averías que originan la interrupción del paso del agua, debido tanto a los terrenos yesíferos en contacto con la obra como a las aguas selenitosas que conducen.

La corrosión producida en las conducciones de aguas residuales y redes de alcantarillado ha sido motivo de numerosos estudios y trabajos a causa de los problemas presentados en numerosos países. El ataque se produce por la variedad de materias que contienen las aguas, como sulfatos, cloruros, grasas y aceites, ácidos, álcalis, taninos, etc., y por el desprendimiento de hidrógeno sulfurado, formado por la acción de las bacterias sobre la materia orgánica y que determina el ataque en la parte superior, donde se produce la oxidación. En todos los casos, el material más débil es el cemento, que se corroe por la acción de los sulfatos, formando el sulfoaluminato tricálcico expansivo, y por la disolución de la cal hidratada.

Las aguas ácidas de manantial y de alta montaña deben su acidez especialmente al anhídrido carbónico que contienen, el cual, disolviendo parte del cemento fraguado sin expansión, provoca la debilitación del hormigón y ocasiona graves daños. Una presa de hormigón puede ser sobradamente fuerte para resistir las fuerzas mecánicas para las que se ha proyectado y, sin embargo, puede ser incapaz de resistir la lenta acción disolvente de las aguas ácidas, que, pasando por la masa disolviendo cal, la hacen progresivamente más porosa. Cuando el contenido en CO_2 permanece invariable, el poder disolvente del agua aumenta según la reacción $\text{Ca}(\text{OH})_2 + 2\text{CO}_2 \rightarrow (\text{CO}_3\text{H})_2\text{Ca}$, a lo que se deben los importantes daños experimentados en presas de hormigón en los países escandinavos y otras regiones del mundo.

La fermentación del forraje verde y de otros productos vegetales ensilados producen ácidos y azúcares que atacan al cemento empleado en la fabricación de los silos, siendo su acción específica sobre la cal de los compuestos hidratados.

En suelos de hormigón de establos, cuadras, gallineros y similares se han comprobado con el tiempo deterioros y destrucciones ocasionados por la fermentación de la orina y el estiércol, que por la acción de las zimasas producen sustancias ácidas que originan los daños.

En las obras de tipo marítimo existe una acción destructora del agua de mar sobre los hormigones. Dicha acción destructora se compone de varios factores tanto mecánicos como químicos: Primero, la erosión puramente mecánica producida por las olas; segundo, las heladas, y tercero, el ataque químico de las sales disueltas que cristalizan en las masas de hormigón al estar sometidas a la acción de las mareas y, por tanto, a un estado continuo de alteración entre la inmersión y la desecación, lo que produce un proceso continuo de deposición de sales. El ataque del agua de mar a los hormigones es producido por el sulfato magnésico que contiene.

Se han expuesto de forma somera aquellos casos más frecuentes en que el hormigón puede ser atacado, aunque siempre haya que tener en cuenta que la resistividad aumenta con la compacidad y con la disminución del coeficiente agua-cemento.

No obstante, independientemente de que en la elaboración de un hormigón se tomen las debidas precauciones, solamente se logrará una elevada resistencia a los ataques anteriormente mencionados cuando se emplee un conglomerante de alta resistencia ante los sulfatos.

En el presente trabajo se pretende ver el comportamiento de distintos tipos de cementos ante el ataque producido por los iones sulfato.

Se han seleccionado para ellos los siguientes tipos: 1.º Portland; 2.º Portland siderúrgico; 3.º Portland de horno alto; 4.º Mezcla al 50 por 100 de portland y natural; 5.º Supercemento; 6.º Supercemento puzolánico (fabricación italiana); 7.º PAS (fabricación alemana), y 8.º Portland de horno alto especial marca ABRA.

Todos estos cementos seleccionados se han sometido a diversos ensayos en las mismas condiciones, claro está, para cada uno de ellos.

CARACTERISTICAS TECNICAS DE LOS CEMENTOS A ESTUDIAR

Análisis químico de los cementos

TABLA I

Clase de cemento	Portland siderúrgico	Portland	Portland de horno alto	50 % Portland 50 % Natural	Super-cemento	PAS	Super-cemento puzolánico	ABRA
R. insoluble	0,28	0,20	0,15	0,30	0,30	0,25	0,30	1,02
SiO ₂	23,72	20,80	26,75	25,10	19,80	20,30	40,25	29,7
Al ₂ O ₃	7,20	6,10	7,86	8,—	6,74	4,40	2,85	9,20
Fe ₂ O ₃	292	2,16	2,85	3,10	2,96	7,40	3,20	1,30
FeO	0,38	—	0,46	—	—	—	—	1,10
MnO	0,27	—	0,41	—	—	—	—	0,46
CaO	58,38	63,36	53,23	52,72	65,75	62,57	47,38	47,18
MgO	2,42	2,37	2,79	2,26	0,40	0,72	1,08	5,80
SO ₃	1,99	2,81	2,63	1,59	2,15	2,36	2,36	2,35
S	0,46	—	0,57	—	—	—	—	1,—
Pérdida al fuego	1,70	2,—	1,94	6,60	1,70	1,70	—	0,32
Alcalis y no dosificados... ..	0,28	0,20	0,36	0,35	0,20	0,30	0,58	0,57
Cal libre	indicios	indicios	nada	nada	indicios	indicios	nada	nada

COMPOSICION DE LOS CEMENTOS

1.º El portland siderúrgico, incluido en el estudio, es un cemento preparado a base de un 70 por 100 de clínker, 27 por 100 de escoria granulada de horno alto y un 3 por 100 de yeso.

El análisis químico de este clínker ha sido:

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	P. al fuego	No dosificados
20,40	6,15	3,62	64,81	2,52	2,03	0,30	0,17

La composición potencial del clínker utilizado, según Bogue, fue la siguiente:

C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
56,43	15,98	10,15	11

- 2.º La mezcla al 50 por 100 de portland y cemento natural de tipo rápido se ha efectuado con un cemento portland cuya composición reseñaremos más adelante y un cemento natural cuyo análisis químico es el siguiente:

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	MgO	P. al fuego
29,80	11,18	3,28	42,84	0,41	1,69	10,8

- 3.º El cemento portland de horno alto es un cemento a base de un 50 por 100 de escoria granulada de horno alto, un 45 por 100 de clínker y un 5 por 100 de yeso.

El clínker utilizado es el mismo que el del cemento portland que se incluye en estos ensayos.

- 4.º El cemento ABRA se ha preparado a base de un 65 por 100 de escoria granulada de horno alto, un 5 por 100 de yeso y un 30 por 100 de clínker.

La composición química de este clínker es la siguiente:

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	P. al fuego	No dosificados
19,50	4,89	8,15	63,22	1,26	1,90	0,90	0,18

y la composición potencial resultante:

C ₂ S	C ₃ S	C ₃ A	C ₄ AF
58,47	11,81	—	23,22

- 5.º En la tabla siguiente se detallan los constituyentes de aquellos otros cementos que no son de adición, es decir, aquellos fabricados solamente a base de clínker y yeso.

Se ha obtenido el cálculo de la composición potencial por el método de Bogue:

Clase de cemento	C ₂ S	C ₃ S	C ₄ AF	C ₃ A
Portland	47,7	23,73	6,56	12,51
Supercemento	61,07	10,78	8,99	12,86
PAS	53,50	22,49	17,92	—

CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS CEMENTOS

Ver tablas II y III y gráfico III bis.

TABLA II

Clase de cemento	FRAGUADOS				% de agua de amasado para pasta de consistencia normal	Expansión Le Chatelier (mm)
	AGUA		AIRE			
	Principio	Fin	Principio	Fin		
Portland siderúrgico	4 hr 10 min	5 hr 10 min	3 hr	4 hr	28	Sin novedad
Portland	4 hr	5 hr	3 hr 10 min	4 hr	30	Sin novedad
Portland de horno alto	50 min	1 hr 25 min	30 min	1 hr 5 min	28	Sin novedad
50 % Portland - 50 % natural	40 min	45 min	35 min	40 min	36	Sin novedad
Supercemento	2 hr 33 min	3 hr 5 min	2 hr 15 min	2 hr 35 min	27	Sin novedad
PAS	30 min	45 min	35 min	50 min	26	Sin novedad
Supercemento puzolánico.. ...	8 hr 50 min	9 hr 25 min	5 hr 20 min	6 hr 20 min	30	Sin novedad
ABRA	2 hr 40 min	4 hr 10 min	2 hr 30 min	4 hr	28	Sin novedad

TABLA III

CLASE DE CEMENTO	Densidad real	% residuo s/900 mallas	% residuo s/4.900 mallas	Superficie específica Blaine
Portland siderúrgico	3,00	0,30	1,5	3.937
Portland	3,02	0,50	11,00	2.699
Portland de horno alto	2,98	—	0,70	4.103
50 % Portland y 50 % natural	2,98	7,00	28,00	1.854
Supercemento	3,1	—	0,80	4.200
PAS	3,03	—	1,50	3.758
Supercemento puzolánico	2,7	0,30	2,00	4.050
ABRA	2,90	0,30	1,50	4.200

EN LOS PUNTOS MARCADOS CON ASTERISCO SE HA DEJADO DE TOMAR DIAMETROS, DEBIDO A QUE EL AGRIETAMIENTO Y LA EXPANSION NO LO PERMITIA

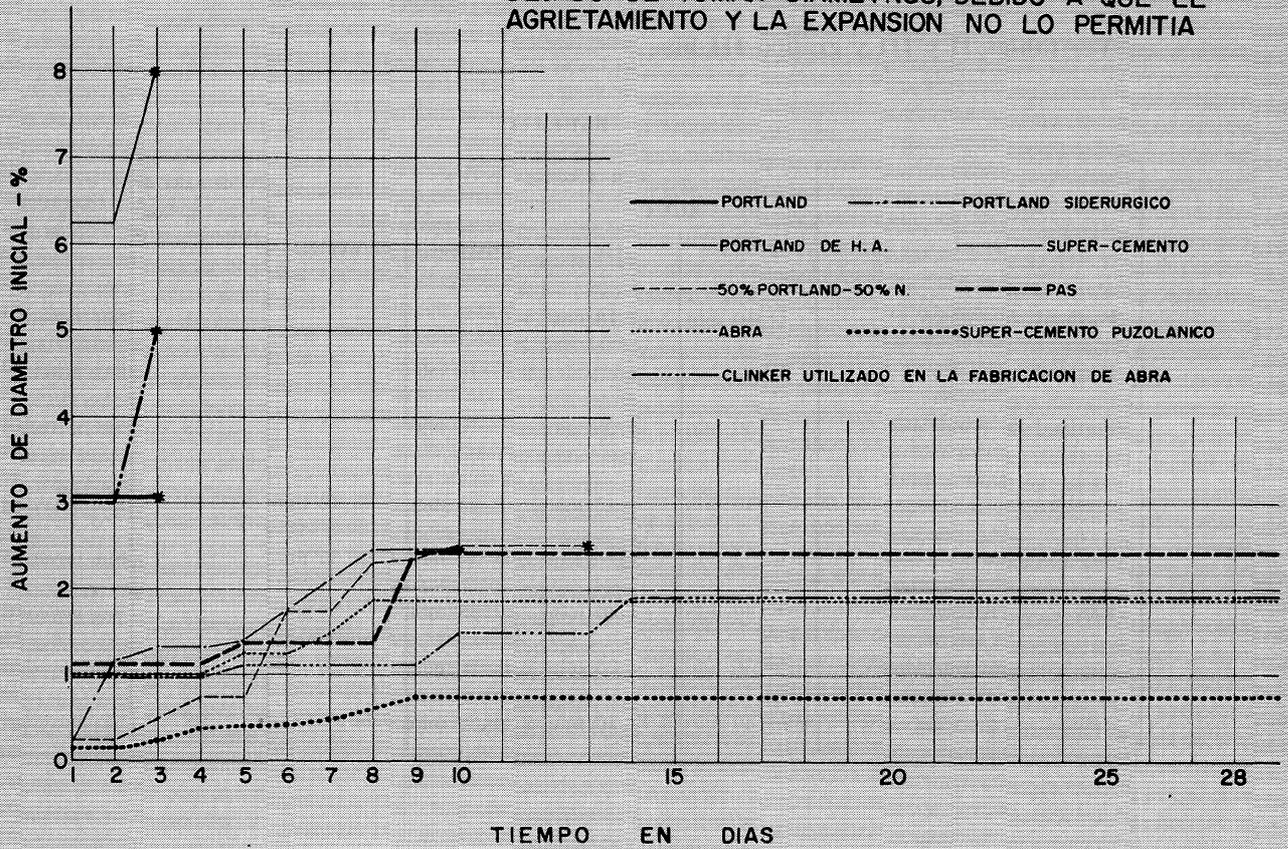


GRAFICO III

RESISTENCIAS MECANICAS DE LOS CEMENTOS ENSAYADOS

Todos los cementos incluidos en este estudio se han ensayado según el actual Pliego General de Condiciones para la Recepción de Conglomerantes Hidráulicos, a compresión y a flexotracción, a las edades de 3, 7, 20, 28, 34, 48 y 76 días.

Los resultados obtenidos para cada uno de ellos, se consignan en las tablas IV a XI, ambas inclusive, y en los gráficos I y II.

TABLA IV. Resistencias en prismas de 4 × 4 × 16 cm de mortero normal a base de cemento portland siderúrgico

Edad en días	Flexotracción Unitarias, kg/cm ²	Promedio kg/cm ²	Compresión Unitarias kg/cm ²	Promedio kg/cm ²
3	44,2-43,8	43,5	160-142	158
	42,6-43,6		158-172	
7	66,6-65	64,1	229-235	237
	61,5-63,4		242-242	
20	82,6-80,2	80,9	315-300	300
	80,2-80,6		295-290	
28	82,5-82,5	85	332-354	352
	87,5-87,5		372-350	
34	92,0-93,3	92,9	348-363	367,2
	92,0-94,4		363-395	
48	94,4-94,4	95,5	395-395	387
	96,7-96,7		379-379	
76	93,3-96,7	95,8	395-410	406,5
	96,7-96,7		410-410	

TABLA V. Resistencias en prismas de 4 × 4 × 16 cm de mortero normal a base de cemento portland

Edad en días	Flexotracción Unitarias, kg/cm ²	Promedio kg/cm ²	Compresión Unitarias kg/cm ²	Promedio kg/cm ²
3	36,5- 36,6	37,7	150-156	158
	38,9- 38,8		160-166	
7	60 - 61,8	62,5	226-228	221
	63,7- 64,5		216-214	
20	71,2- 72,5	73,1	274-272	271
	74,6- 74,1		268-270	
28	75,8- 76,9	77,9	310-315	310
	79 - 79,9		305-310	
34	89 - 90,9	89,1	339-345	348
	88,5- 88,5		358-350	
48	95,6- 96,7	96,11	372-370	370
	96,7- 95,6		369-369	
76	105 -100	104,3	410-405	405
	107,4-105		395-410	

TABLA VI. Cemento portland de horno alto

Edad en días	Flexotracción Unitarias, kg/cm ²	Promedio kg/cm ²	Compresión Unitarias kg/cm ²	Promedio kg/cm ²
3	39 - 39,2	38,9	140-140	142
	38,7- 38,7		149-139	
7	60 - 61,1	61,3	190-190	189
	62,6- 61,5		188-188	
20	82,6- 82,6	86,1	311-313	316
	87,3- 92,2		320-320	
28	91,4- 95,5	94,4	360-365	363
	95,2- 95,5		364-363	
34	115 -115	115	375-375	375
	112 -118		375-380	
48	118 -115	116,5	385-388	386
	118 -115		385-386	
76	128,6-129,8	129,2	475-475	478
	128,6-129,8		482-480	

TABLA VII. 50 % de cemento portland - 50 % de cemento natural

Edad en días	Flexotracción Unitarias, kg/cm ²	Promedio kg/cm ²	Compresión Unitarias kg/cm ²	Promedio kg/cm ²
3	17 -17,9	17,7	80- 79	79
	18 -17,9		76- 81	
7	37,2-37,5	37,7	108-112	110
	38,3-37,8		110-110	
20	53,1-53,1	52,8	151-156	157
	53,1-51,9		162-159	
28	57,6-59,4	59,	185-189	189
	59,5-59,5		191-191	
34	61,3-62,5	61,6	190-188	192
	61,3-61,3		194-196	
48	70,8-73,1	73,7	200-205	203
	75,5-75,5		210-197	
76	74,3-75,5	75,1	221-221	217
	74,3-76,3		221-205	

TABLA VIII. Supercemento

Edad en días	Flexotracción Unitarias, kg/cm ²	Promedio kg/cm ²	Compresión Unitarias kg/cm ²	Promedio kg/cm ²
3	60 - 61,8	62,5	308-302	300
	62,5- 65,7		293-297	
7	79 - 79,9	77,9	360-365	363
	75,8- 76,9		364-363	
20	100,3-100,3	98,3	390-391	393
	99,9-103		395-396	
28	103,9-102,7	102,4	442-440	442
	100,3-102,9		443-443	
34	102 -105	105	480-477	474
	108 -105		470-469	
48	105 -106	105,7	490-492	493
	107 -105		500-490	
76	105 -105	107,5	557-557	535
	110 -110		506-521	

TABLA IX. PAS de fabricación alemana

Edad en días	Flexotracción Unitarias, kg/cm ²	Promedio kg/cm ²	Compresión Unitarias kg/cm ²	Promedio kg/cm ²
3	39 - 39,2	38,9	140-145	141
	38,7- 38,7		138-141	
7	60 - 61,2	61,3	188-188	189
	62 - 62		191-189	
20	96,7-103,8	97,3	325-329	331
	92 - 96,8		336-334	
28	94 -106	103,5	370-365	363
	108 -106		358-359	
34	106,2-108,5	107,3	415-415	415,4
	108,5-106,2		416-414	
48	108,5-108,5	109,7	535-535	532,8
	110,9-110,9		530-528	
76	112-1-110,9	111,5	537-585	573
	110,9-112,1		585-585	

TABLA X. Supercemento puzolánico de fabricación italiana

Edad en días	Flexotracción Unitarias, kg/cm ²	Promedio kg/cm ²	Compresión Unitarias kg/cm ²	Promedio kg/cm ²
3	36,2- 36,2	37,7	152-155	158
	39,7- 38,7		164-161	
7	68,5- 69	69,6	275-268	269
	70,3- 70,6		266-267	
20	93 - 95	94	380-383	382
	93 - 95		383-382	
28	95,6- 97,9	98	389-397	395
	96,5-102		395-399	
34	103,3-101,5	102,5	400-405	404
	102 -103,3		410-401	
48	104 -103,3	103,4	400-408	411,1
	103,3-103,3		418-418	
76	114,4-114,4	113,5	458-490	482
	112,1-113,2		490-490	

TABLA XI. Portland de horno alto especial marca ABRA

Edad en días	Flexotracción Unitarias, kg/cm ²	Promedio kg/cm ²	Compresión Unitarias kg/cm ²	Promedio kg/cm ²
3	26,4- 27,2	27	145-141	142
	27,3- 27,1		140-142	
7	76,5- 76,4	76,7	265-277	274
	76,9- 77		280-274	
20	96,7- 94,4	95,2	313-316	316
	94,4- 95,6		317-318	
28	111,7-112	112,1	339-359	354
	112,3-112,4		359-359	
34	118 -114	116,7	380-385	383
	116,8-118		383-384	
48	118 -118	118	405-409	410
	118 -118		413-413	
76	118 -118,4	118,1	458-474	470
	118 -118		474-474	

GRAFICO I. Resistencias a compresión de prismas de 4 × 4 × 16 cm de mortero normal de los cementos estudiados

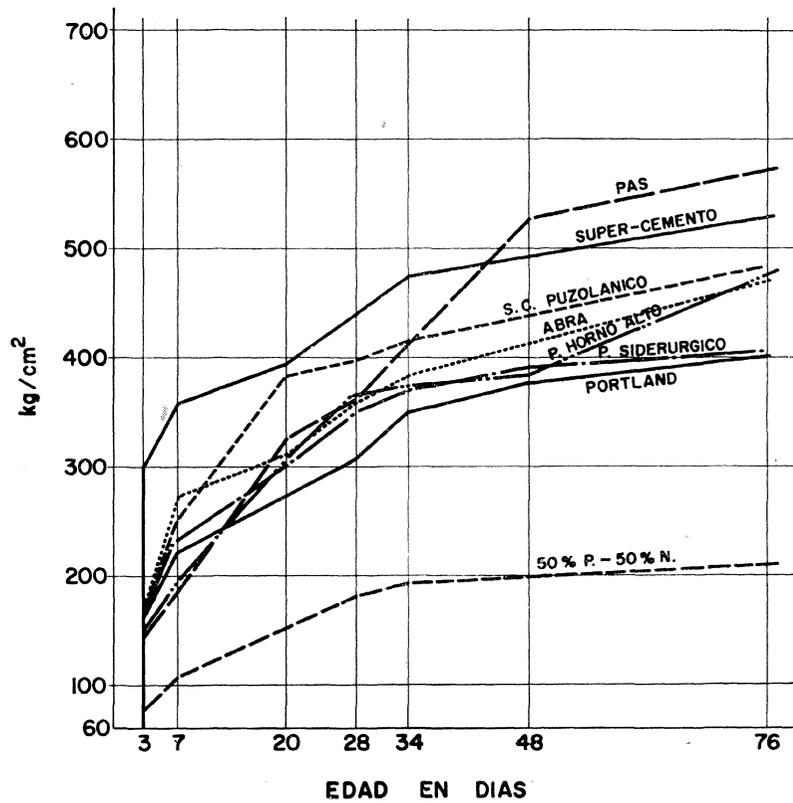
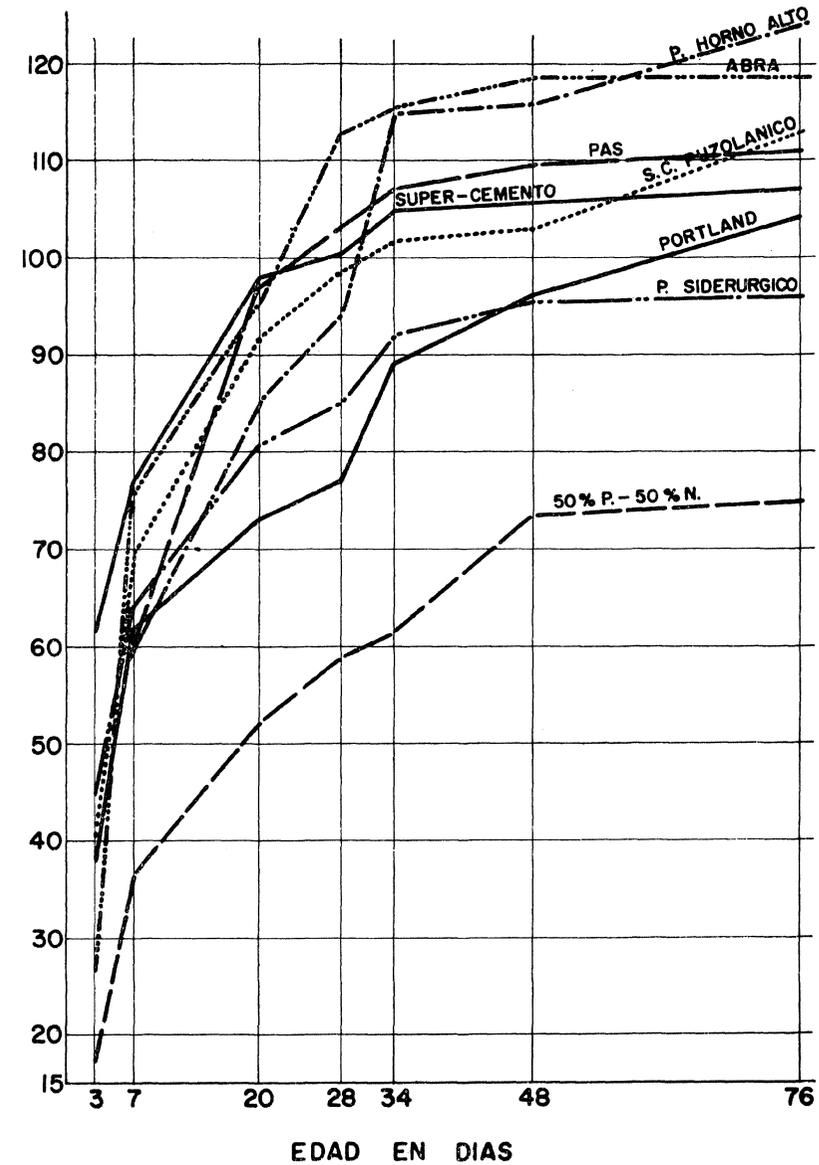


GRAFICO II. Resistencias a flexotracción de prismas de 4 × 4 × 16 cm de mortero normal de los cementos estudiados



INDICE DE LOS ENSAYOS DE DURABILIDAD REALIZADOS

1.º Ensayo de Le Chatelier-Anstett

Cementos sometidos al ensayo: Portland siderúrgico. Portland de horno alto. Portland (50 por 100 portland y 50 por 100 natural). Supercemento puzolánico. PAS. ABRA. Cemento portland a base de clínker utilizado en el cemento ABRA. Supercemento.

2.º Ensayo de Le Chatelier-Anstett (modificado por L. Blondiau)

Cementos sometidos al ensayo: Los mismos que en el método anterior.

3.º Ensayo de Koch-Steinegger

Cementos sometidos al ensayo: Portland siderúrgico. Portland de horno alto. Portland (50 por 100 portland y 50 por 100 natural). Supercemento puzolánico. PAS. ABRA. Supercemento.

4.º Ensayo de Taylor y Bogue

Cementos sometidos al ensayo: Los mismos que en el método anterior.

5.º Ensayo de Merriman

Cementos sometidos al ensayo: Los mismos que en el método anterior.

6.º Ensayo de agresividad del yeso al hormigón

Cementos sometidos al ensayo: Los mismos que en el método anterior.

7.º Ensayo de incremento de longitud en probetas de mortero normal, sumergidas en soluciones sulfatadas

Cementos sometidos al ensayo: Portland siderúrgico. Portland. ABRA.

8.º Resistencia del cemento al ataque de los yesos a largo plazo

Cementos sometidos al ensayo:

- a) En mortero normal: Portland. Portland siderúrgico. ABRA.
- b) En hormigón: ABRA.

1.º Ensayo de Le Chatelier-Anstett

En primer lugar, expondremos los resultados que se han obtenido con los ocho cementos seleccionados, sometiéndolos al ensayo de Le Chatelier-Anstett.

Al comienzo de este estudio no se siguió rigurosamente el método operativo de M. Anstett para ensayos de resistencia química de los cementos a las aguas selenitosas y modificado por Leon Blondiau, sino que solamente se prepararon probetas de 80 mm de \varnothing y 30 mm de altura como a continuación se indica:

Todos los cementos se molieron de forma que el residuo sobre tamiz de 4.900 mallas/cm² fuera nulo. Después se amasaron utilizando el 50 por 100 de su peso de agua destilada, de manera que la consistencia de la masa fuera muy plástica. Todas las masas se conservaron durante 14 días en cámara húmeda, y a los 14 días se trituraron todas las masas hasta que el residuo sobre 900 mallas/cm² fue cero. Seguidamente se mezcló, a partes iguales, con yeso natural pulverizado y pasado también por 900 mallas/centímetro cuadrado.

Una vez efectuada la mezcla se amasó con el 6 por 100 de agua y se prepararon dos probetas de cada clase de cemento de 80 mm de \varnothing y 30 mm de altura, las cuales se sometieron a una presión de 80 kg/centímetro cuadrado.

Todas las probetas se conservaron sobre vasos apoyados encima de papeles de filtro corrientes y tapadas también con vasos con el fin de mantener el aire en contacto con las probetas, saturándolo de humedad. Los papeles de filtro se mantuvieron sumergidos en agua durante el ensayo (véase figura 1).

En este ensayo no se midió la expansión de las pastillas ni la penetración de la aguja de Vicat, solamente se observó el agrietamiento.

Se apreció que comenzaba el agrietamiento para cada tipo de cemento a las fechas siguientes: Portland siderúrgico, a los 17 días; portland, a los 13 días; portland de horno alto, a los 19 días; 50 por 100 portland y 50 por 100 natural, a los 13 días; supercemento, a los 20 días; PAS, no aparece agrietamiento; supercemento puzolánico, no aparece agrietamiento; portland de horno alto especial ABRA, no aparece hinchamiento.

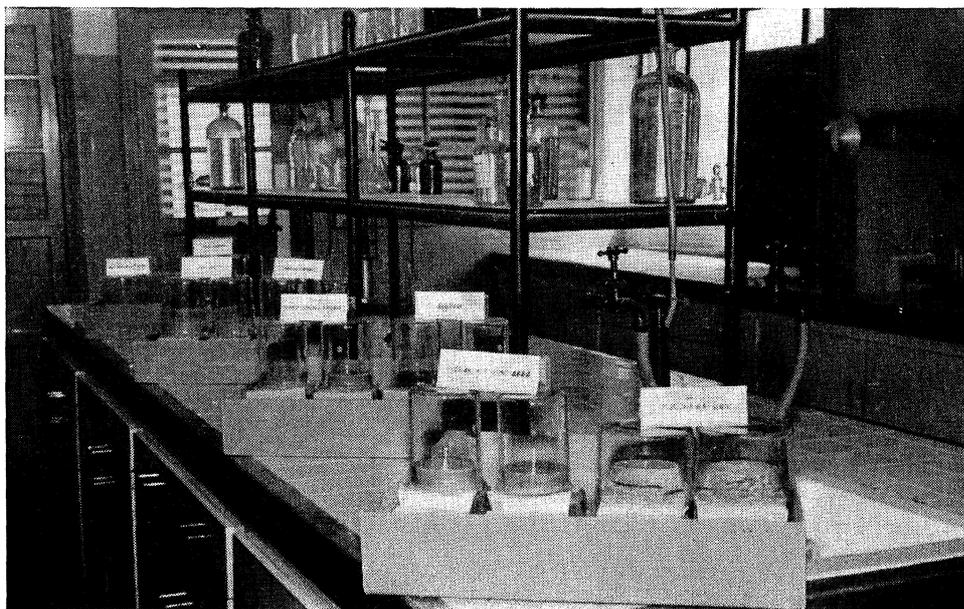


Fig. 1.

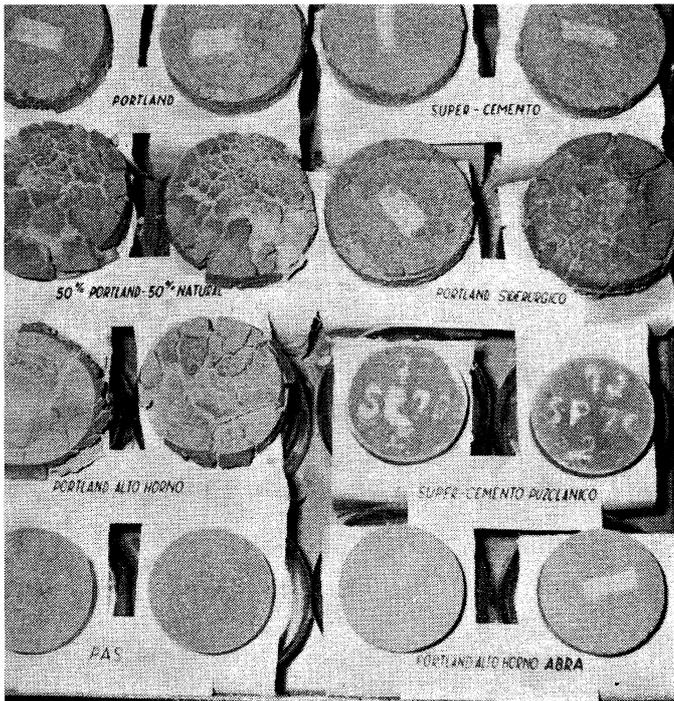


Fig. 2.

La disgregación, tal como se ve en la figura 2, apareció en las fechas siguientes: Portland siderúrgico, a los 22 días; portland, a los 18 días; portland de horno alto, a los 25 días; 50 por 100 portland y 50 por 100 natural, a los 18 días; supercemento, a los 27 días; PAS, supercemento puzolánico, portland de horno alto especial ABRA, sin alteración a los 3 meses.

2.º Ensayo Le Chatelier-Anstett (modificado por L. Blondiau)

En este ensayo se ha operado siguiendo las modificaciones que introdujo al método L. Blondiau. Todos los cementos se pulverizaban hasta que no dejaban residuo sobre el tamiz de 4.900 mallas/cm². Después se amasaron adicionándoles el 50 por 100 ponderal de agua destilada. Las papillas obtenidas se trasladaron a recipientes estancos y saturados de humedad y se conservaron así 24 hr, pasadas las cuales se metieron las pastas resultantes bajo agua durante 14 días.

Después de los 14 días se molieron hasta que no dejaron residuo sobre tamiz de 4.900 mallas. Se pulverizaron las pastas y se secaron a 40° C posteriormente. Seguidamente, se hidrataron nuevamente y se conservaron bajo agua destilada otros 14 días, al cabo de los cuales se tomaron trozos de la pasta endurecida y se desecaron sin pasar de 40° C, y después se determinaron los pesos específicos de cada uno de ellos. Dado que la diferencia entre los pesos específicos de los conglomerantes anhidros y el de los conglomerantes hidratados era mayor que el 20 por 100 del peso específico de los cementos anhidros, se consideró que la hidratación se había completado.

Se rompieron las pastas en trozos pequeños y se desecaron sin pasar de los 40° C hasta que dos pesadas sucesivas con 30 min de intervalo dieron una diferencia menor que el 3 por 100. Seguidamente se añadió a cada cemento el 50 por 100 ponderal de sulfato de calcio químicamente puro (CaSO₄ · 2H₂O).

Dicha mezcla se pulverizó hasta no dejar residuo sobre el tamiz de 900 mallas/centímetro cuadrado.

Las harinas así obtenidas se amasaron con el 6 por 100 ponderal de agua destilada. El polvo húmedo así obtenido se colocó en un molde cilíndrico de 80 mm de diámetro y 30 mm de altura, comprobando que dichos moldes en sus paredes interiores no tenían muestra de grasa. Se aplicó al contenido de los moldes una presión de 20 kg/cm² durante 1 minuto.

Los cilindros resultantes se colocaron encima de unas bandas de papel de filtro sobre una placa de vidrio, los extremos de las bandas de papel estaban sumergidos en agua destilada, estando el nivel del agua 100 mm por debajo de las probetas.

Cada probeta se cubrió con su campana de vidrio y después de 24 hr se midieron los diámetros de los cilindros y la penetración de la aguja de Vicat en cada uno de ellos, continuando estas mediciones hasta los 28 días.

En las tablas XII y XIII se consignan los resultados de los aumentos de diámetro en % del diámetro inicial y la penetración en mm de la aguja a lo largo de los 28 días (véase también gráficos III y IV).

En este ensayo se ha incluido un noveno cemento preparado a base de clínker utilizado en la fabricación del cemento ABRA y yeso.

TABLA XII. Aumento de diámetro inicial de las probetas (en %).

Días	CLASE DE CEMENTO								
	PAS	Super-cemento puzolánico	ABRA	Super-cemento	Portland	50 % Natural 50 % Portland	Portland siderúrgico	Portland horno alto	Clínker utilizado en la fabricación de ABRA
1	1,125	0,15	1	6,25	3,12	0,25	3	0,2	1
2	1,125	0,15	1	6,25	3,12	0,25	3	1,15	1
3	1,125	0,25	1	8	3,12	0,50	5	1,32	1
4	1,125	0,375	1	8	3,12	0,75	*	1,32	1
5	1,375	0,4375	1,25	*	*	0,75		1,4	1,13
6	1,375	0,4375	1,25			1,75		1,75	1,135
7	1,375	0,5	-,5			1,75		2,1	1,135
8	1,375	0,625	1,875			2,30		2,42	1,135
9	2,375	0,75	1,875			2,35		2,42	1,135
10	2,375	0,75	1,875			2,50		2,42	1,5
11	2,375	0,75	1,875			2,50		*	1,5
12	2,375	0,75	1,875			2,50			1,5
13	2,375	0,75	1,875			2,50			1,5
14	2,375	0,75	1,875			*			1,9
15	2,375	0,75	1,875						1,9
16	2,375	0,75	1,875						1,9
17	2,375	0,75	1,875						1,9
18	2,375	0,75	1,875						1,9
19	2,375	0,75	1,875						1,9
20	2,375	0,75	1,875						1,9
21	2,375	0,75	1,875						1,9
22	2,375	0,75	1,875						1,9
23	2,375	0,75	1,875						1,9
24	2,375	0,75	1,875						1,9
25	2,375	0,75	1,875						1,9
26	2,375	0,75	1,875						1,9
27	2,375	0,75	1,875						1,9
28	2,375	0,75	1,875						1,9

TABLA XIII. Penetración de la aguja de Vicat en las probetas (en mm)

Días	CLASE DE CEMENTO								
	PAS	Super-cemento puzolánico	ABRA	Super-cemento	Portland	50 % Natural 50 % Portland	Portland siderúrgico	Portland horno alto	Clínker utilizado en la fabricación de ABRA
1	—	16	—	30	30	30	30	30	—
2	—	14	—	30	30	30	30	30	—
3	—	10	—	30	30	30	30	30	—
4	—	5	—	30	30	30	30	22	—
5	—	1	—	30	30	25	30	22	—
6	—	1	—	30	30	23	30	21	—
7	—	0,5	—	30	30	21	30	20	—
8	—	0,5	—	30	30	20	30	15	—
9	—	—	—	30	30	18	30	15	—
10	—	—	—	30	30	8	30	10	—
11	—	—	—	30	30	5	30	8	—
12	—	—	—	30	30	5	30	8	—
13	—	—	—	30	30	2	30	5	—
14	—	—	—	30	30	1	30	3	—
15	—	—	—	30	30	1	30	1	—
16	—	—	—	30	30	0,5	30	1	—
17	—	—	—	30	30	0,5	30	1	—
18	—	—	—	30	30	—	30	0,5	—
19	—	—	—	30	30	—	30	0,5	—
20	—	—	—	30	30	—	30	0,5	—
21	—	—	—	30	30	—	30	—	—
22	—	—	—	30	30	—	30	—	—
23	—	—	—	30	30	—	30	—	—
24	—	—	—	30	30	—	30	—	—
25	—	—	—	30	30	—	30	—	—
26	—	—	—	30	30	—	30	—	—
27	—	—	—	30	30	—	30	—	—
28	—	—	—	30	30	—	30	—	—

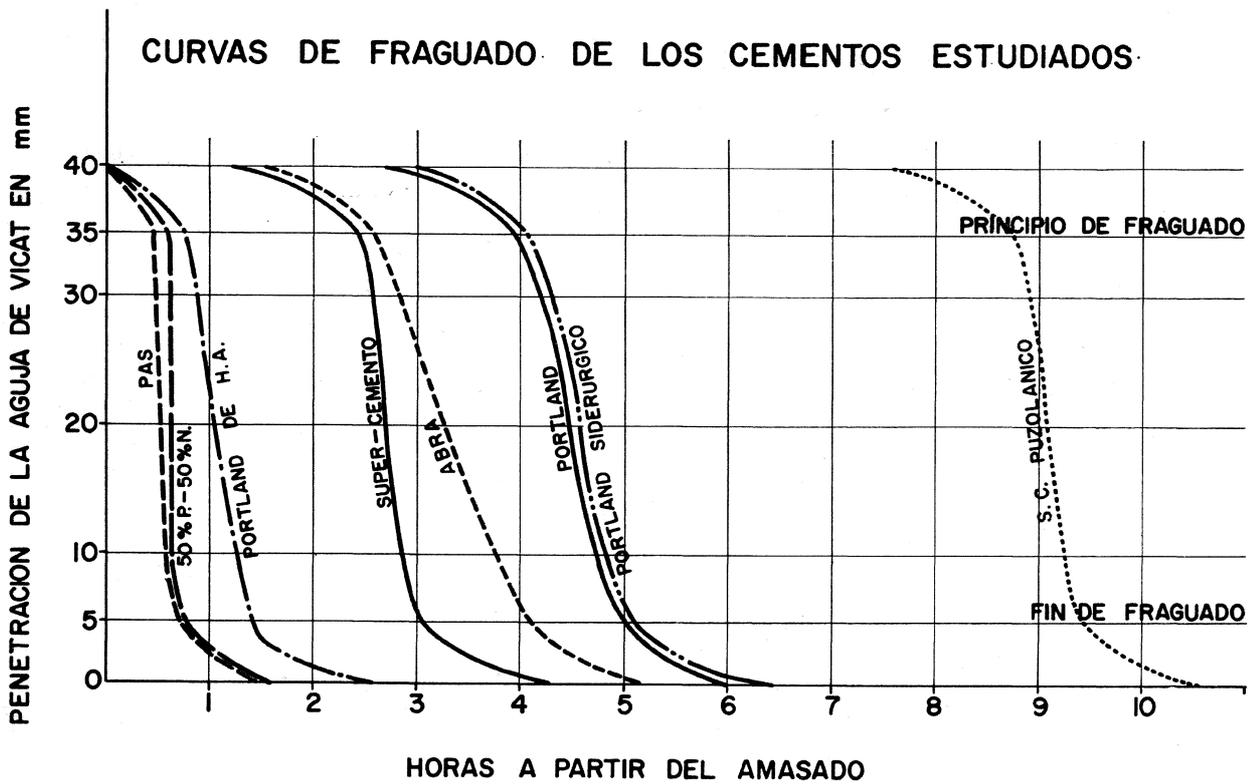


GRAFICO III BIS

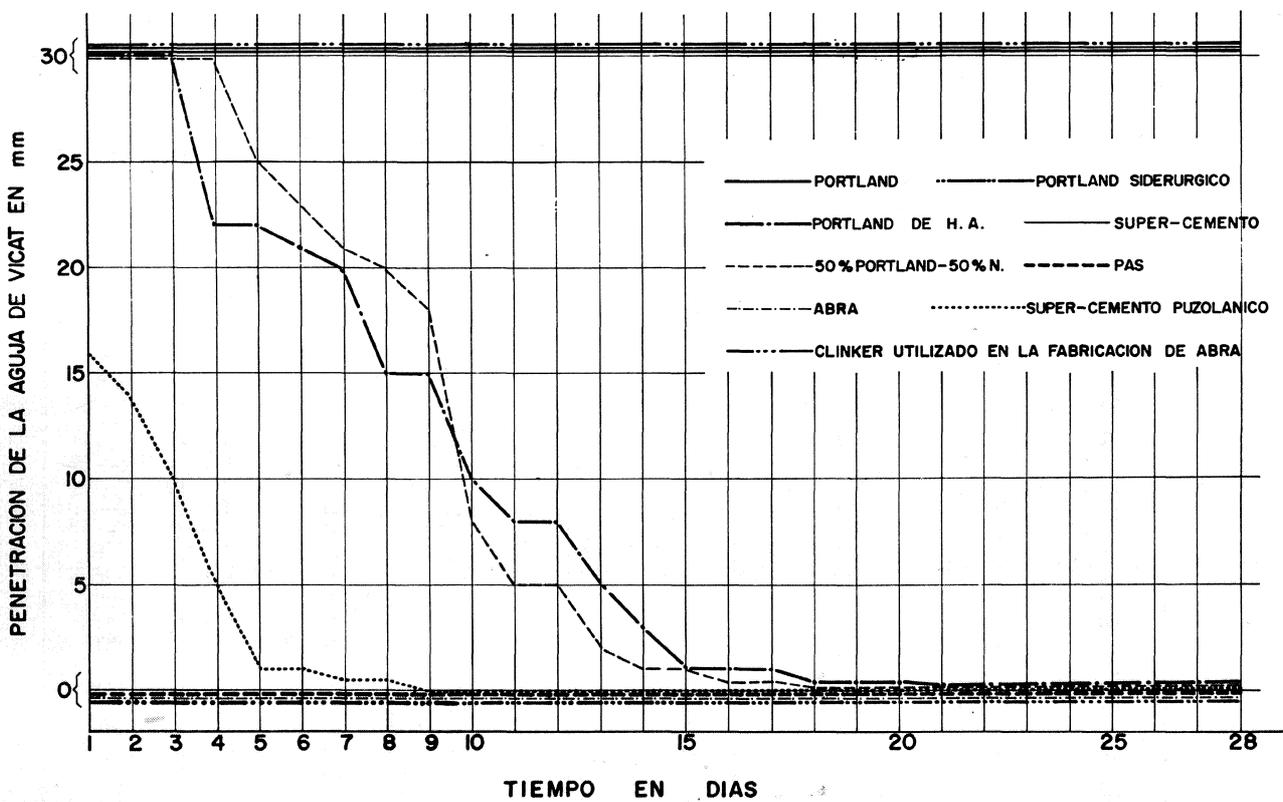


GRAFICO IV

3.º Ensayo de Koch-Steinegger

Con cada uno de los ocho tipos de cementos distintos se han elaborado probetas de mortero normal de dimensiones de $1 \times 1 \times 6$ centímetros.

Se han preparado una serie de grupos de cuatro probetas de cada tipo de cemento, y el enmolde se ha efectuado en dos capas, apisonadas con 20 golpes dados a mano en cada probeta. Todas las probetas se conservaron en cámara húmeda durante 24 hr con 90 por 100 de humedad relativa y después de desmoldarlas se ha introducido cada grupo de cuatro probetas en recipientes tapados, conteniendo agua filtrada (destilada), hasta que cumplieran 21 días. Dicha edad de 21 días se ha tomado como edad origen del ensayo.

Al llegar los 21 días, el total de probetas de cada tipo de cemento se dividió en dos grupos:

Uno de ellos continuó introducido en agua hasta su correspondiente fecha de rotura. El otro grupo se extrajo del agua y se sumergió en una disolución de sulfato sódico al 10 por 100.

Antes de introducirlos en esta solución se tuvo el cuidado de secar todas las probetas con un paño.

Los grupos de probetas de cada tipo de cemento se fueron rompiendo de la forma siguiente:

Primer grupo de probetas sumergido en agua destilada:

Edad de rotura: 20, 34, 48 y 76 días.

Segundo grupo de probetas sumergidas en sulfato sódico (que anteriormente habían estado sumergidas 20 días en agua).

Edad de rotura: 14, 28 y 56 (días de inmersión en sulfato sódico).

Para ver las denominaciones que se da a cada tipo de cemento en cada fecha de rotura, véase un ejemplo, suponiendo que se trate del cemento portland:

Núm. de probetas	Días en cámara húmeda	Días en agua	Días en sulfato sódico	Denominación
4	1	20	—	P-0
4	1	34	—	P-14
4	1	20	14	P'-14
4	1	48	—	P-28
4	1	20	28	P'-28
4	1	76	—	P-56
4	1	20	56	P'-56

Designación de cada tipo de cemento

Portland	P	Supercemento	P-450
Portland de horno alto	P.H.A.	Supercemento puzolánico	P.U.Z.
50 % portland y 50 % natural	P.N.	PAS	P.A.S.
Portland siderúrgico	P.S.	Portland horno alto especial	ABRA

Los resultados se encuentran en la tabla XIV y en el gráfico V.

183

TABLA XIV

Designación de las probetas	RESISTENCIAS A FLEXOTRACCION EN kg/cm ²					R. (sulfatos)
	De cada probeta				Promedio	R. (agua)
PUZ - 0	52	52	46,8	53,2	51	1
PUZ -14	70,6	65,0	63,5	60,1	64,8	1,23
PUZ'-14	78,0	78,0	80,5	82,7	79,8	
PUZ -28	64,6	70,5	70,5	61,6	69,3	1,20
PUZ'-28	76,4	91,1	83,0	84,7	83,8	
PUZ -56	80,3	69,0	73,0	75,7	74,5	1,10
PUZ'-56	78,3	78,2	87,5	84	82	
PS - 0	32,1	35,0	26,6	28,3	30,5	1
PS -14	55,1	52,5	51,6	48,0	51,8	1,10
PS'-14	59,6	60,3	54,1	54	57	
PS -28	58,8	63,2	69,8	69,8	65,4	0,80
PS'-28	49,4	52	54,1	54,1	52,4	
PS -56	70,5	71	69,2	68,5	69,8	0,29
PS'-56	21,3	21	18,2	23,1	20,9	
P-450 - 0	50,1	52,3	56,8	62	55,3	1
P-450 -14	76,4	75,0	70,3	76,3	74,5	0,95
P-450'-14	69,8	70,5	73	71,5	71,2	
P-450 -28	76,6	77,9	75,7	73,0	75,8	0,54
P-450'-28	38,1	39,0	39,5	49,0	41,4	
P-450 -56	74,6	74	74	88,2	77,7	0,41
P-450'-56	60,8	70,2	65,0	63,2	32,4	
P - 0	43,0	33,0	32,5	35,5	38,5	1
P -14	44,3	44,7	47,8	48	46,2	0,94
P'-14	42,0	42,0	42,0	49,2	43,8	
P -28	58,5	60,2	65,0	65,1	62,2	0,71
P'-28	32,5	33,0	36,2	36,7	34,6	
P -56	65,0	65,5	65,7	68,2	66,1	0,34
P'-56	19,0	19,7	28,2	25,5	23,1	
PHA - 0	41,1	41,5	38,4	39	40	1
PHA -14	56,5	60	65,0	66,5	62	1,07
PHA'-14	58,0	62,0	70,5	75,5	66,5	
PHA -28	63,4	62,3	67,0	70,1	65,7	0,91
PHA'-28	56,2	58,0	58,0	69,4	60,4	
PHA -56	78,0	72,4	70,5	59,1	70,0	0,63
PHA'-56	41,2	45,0	45,0	47,2	44,6	
P-N - 0	15,2	18,3	23,0	26,3	20,7	1
P-N -14	13,0	24,2	25,3	25,5	22,0	1,05
P-N'-14	19,0	19,5	21	32,9	23,1	
P-N -28	23,0	23,5	24,9	27,0	24,6	1,01
P-N'-28	21,0	20,5	24,0	34,5	25,0	
P-N -56	24,2	26,0	26,0	27,4	25,9	0,96
P-N'-56	35,5	22,5	21,0	21,0	25,0	
PAS - 0	45,6	45,6	42,1	49,0	45,6	1
PAS -14	59,5	64,6	62,0	59,9	61,5	1,07
PAS'-14	53,9	68,5	71,0	71,0	66,1	
PAS -28	72,0	72,0	75,4	91,4	77,7	1
PAS'-28	74,6	78,5	78,5	79,2	77,7	
PAS -56	87,8	76,2	76,2	76,2	79,1	0,95
PAS'-56	76,0	76,0	76,0	72,4	75,1	
ABRA - 0	43,0	43,0	42,5	46,7	43,8	1
ABRA -14	56,0	59	63,5	63,5	60,5	1,28
ABRA'-14	82,0	82,0	71,6	75,6	77,8	
ABRA -28	72,0	69,2	66,6	66,6	68,6	1,20
ABRA'-28	66,8	87	88,9	88,9	82,9	
ABRA -56	72,0	72,0	74,5	87,1	76,4	1,03
ABRA'-56	83,0	83,0	83,0	67,4	79,1	

GRAFICO V

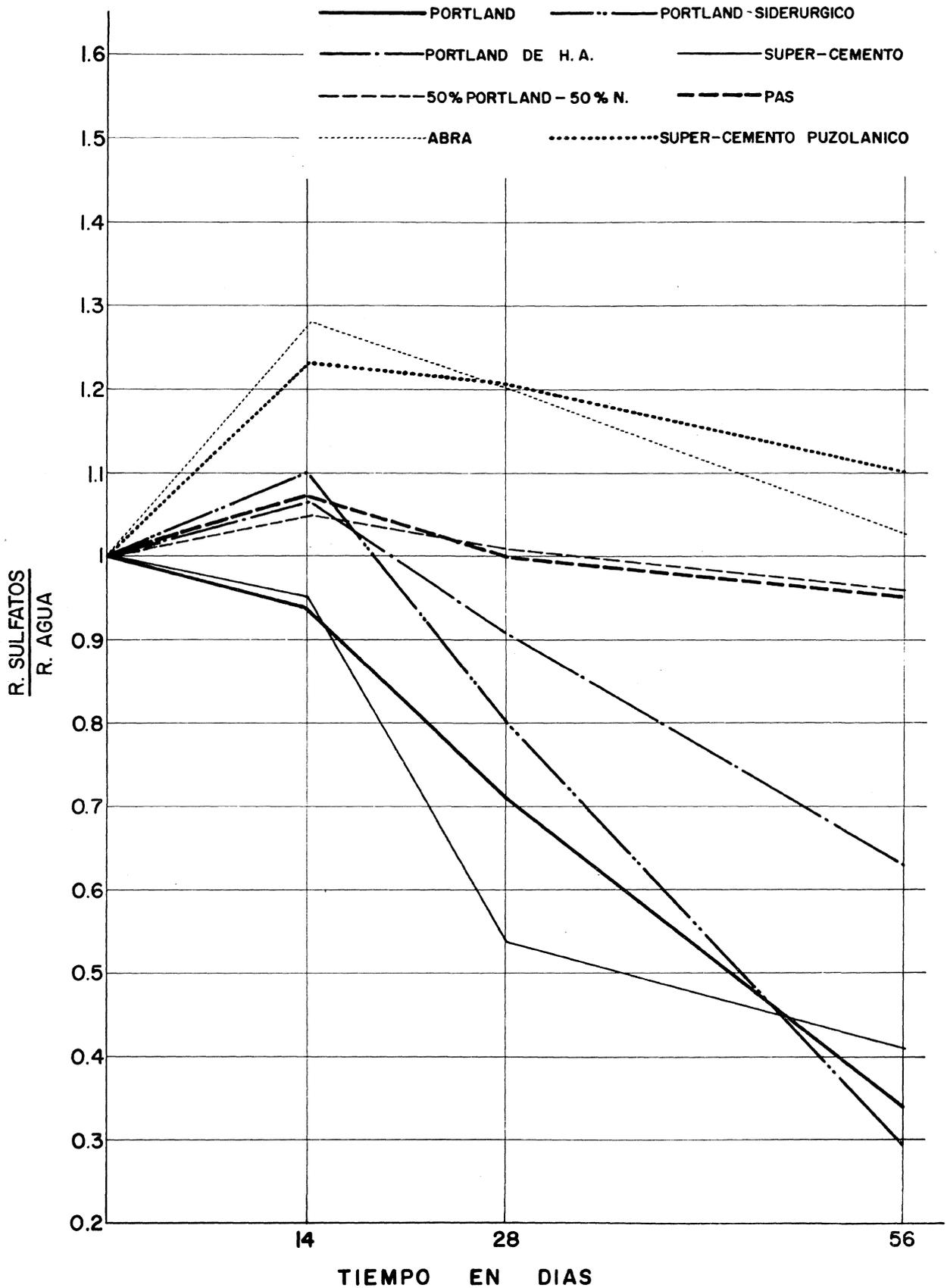
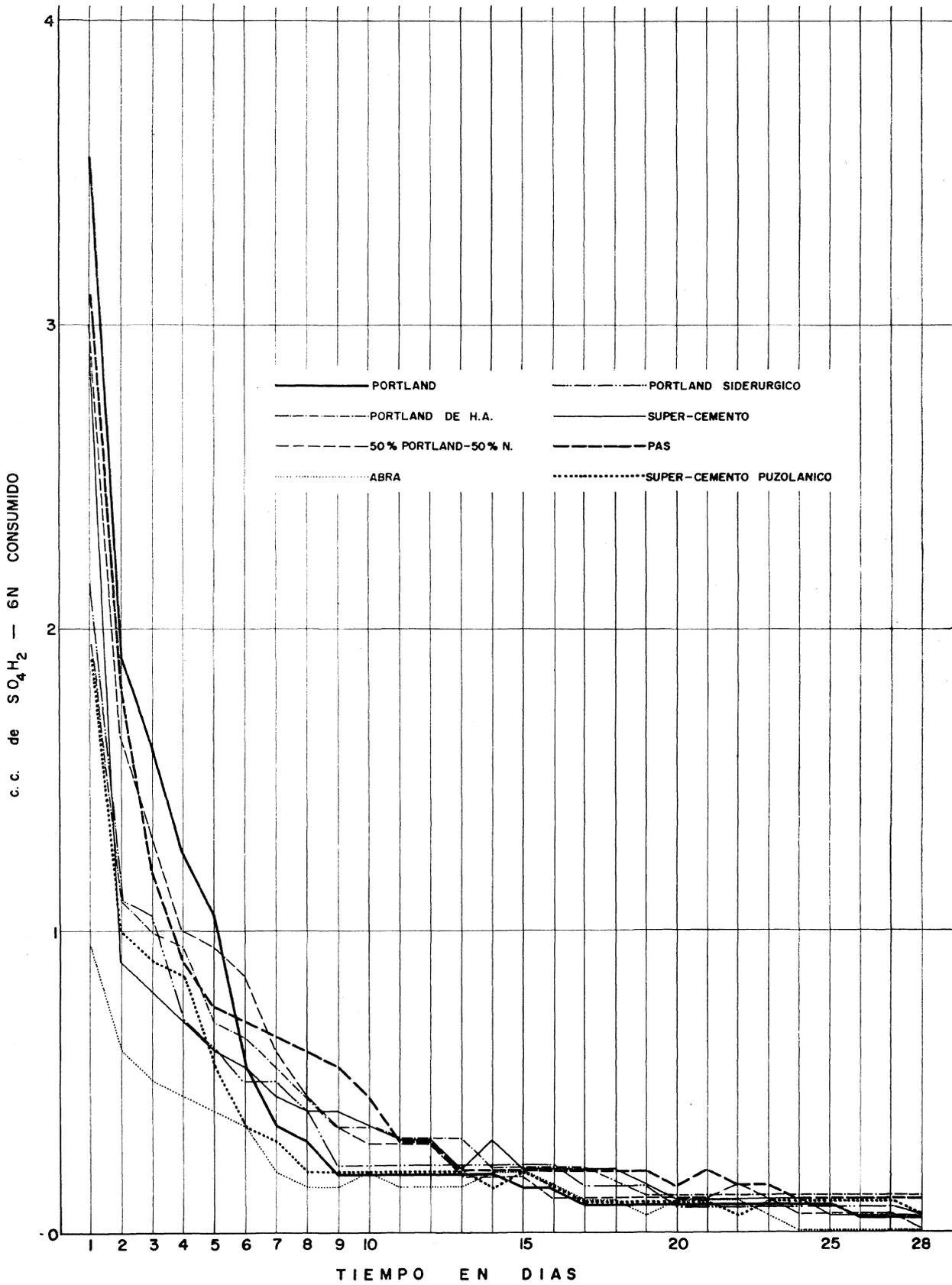


GRAFICO VI



Determinación del % de SO₃ en las microprobetas y valoración de las disoluciones en sulfato sódico al 10 % en que han estado sumergidas

Se ha determinado el % de SO₃ de cada grupo de cuatro microprobetas en cada clase de cemento, con el fin de ver el aumento que sufrían en dicha concentración a medida que aumentaban los tiempos de inmersión en las soluciones de sulfato sódico.

En primer lugar se determinó el % de SO₃ existente en el grupo de probetas conservadas 20 días en agua, y después se fue determinando el % de SO₃ existente en los grupos de probetas que habían estado sumergidas primeramente 20 días en agua y posteriormente 14, 28 y 56 días, respectivamente, sumergidas en sulfato sódico al 10 por 100.

También se valoraron con SO₄H₂-2N y fenolftaleína, las disoluciones de sulfato sódico, donde se sumergió cada grupo de cuatro microprobetas.

En las tablas XV y XVI se detallan los resultados.

TABLA XV. % de SO₃ encontrado en las microprobetas de cada tipo de cemento después de una inmersión en sulfato sódico al 10 por 100, a los 14, 28 y 56 días, y % de SO₃ hallado después de una inmersión de 20 días en agua filtrada.

CLASE DE CEMENTO	% DE SO ₃ A LOS:			
	20 días en agua	14 días en SO ₄ Na ₂	28 días en SO ₄ Na ₂	56 días en SO ₄ Na ₂
PAS	0,549	0,92	1,235	1,40
Portland de horno alto	0,652	0,99	1,115	1,30
50 % portland y 50 % natural	0,343	0,61	0,89	1,01
ABRA	0,480	0,58	0,685	0,79
Portland siderúrgico	0,55	0,68	0,86	1,005
Supercemento	0,514	0,79	1,20	1,41
Supercemento puzolánico	0,446	0,61	0,7	0,80
Portland	0,55	0,72	1,05	1,01

TABLA XVI. cm³ de SO₄H₂-2N consumidos en la valoración de las disoluciones de sulfato sódico al 10 por 100 donde han estado inmersas cada grupo de las microprobetas

CLASE DE CEMENTO	cm ³ de SO ₄ H ₂ -2N consumidos a los:		
	14 días	28 días	56 días
PAS	1,40	1,80	3,1
Portland de horno alto	0,70	0,85	2,4
50 % portland y 50 % natural	0,80	1,00	2,00
ABRA	0,20	0,30	0,40
Portland siderúrgico	0,40	0,80	1,20
Supercemento	1,30	2,1	4,4
Supercemento puzolánico	0,30	0,4	0,70
Portland	0,85	1,00	2,5

4.º Ensayo de Taylor y Bogue

El fundamento de este método consiste en determinar la cantidad de SO₃ que se insolubiliza por reacción con los aluminatos, al agitar un cemento con agua saturada de cal durante un tiempo determinado. El método operatorio es el siguiente:

- 1.º Determinar el % de SO₃ en el cemento a ensayar por el método corriente de análisis químico para el cemento portland.
- 2.º En un tubo de ensayo de 150 ml de capacidad se ponen 30 g de arena sílicea normal, con la cual se realizará un ensayo en blanco para ver el % de SO₃.

Se añadirá una cantidad de cemento a ensayar tal que su peso en gramos sea igual al cociente de dividir por 5,4 su % de SO_3 .

Se miden 100 ml de agua de cal saturada y se vierten rápidamente en el tubo de ensayo, cerrándolo con un tapón de goma perfectamente limpio. El tubo cilíndrico se coloca en un agitador y se mantendrá a una velocidad de 60 r.p.m. durante 6 horas.

Se evitará que los tubos estén colocados a una distancia superior a 15 cm del eje de giro. Se cuidará de que la temperatura ambiente no exceda de 25°C .

Después de 6 hr se filtra el líquido a través de un Buchner aspirando con la trompa de agua con poca presión y se lava por dos veces el tubo de vidrio con 50-60 ml de agua destilada, que se pasan a través del Buchner.

El filtrado se pasa a un vaso de 600 ml de capacidad y se lava dos veces con 50-60 ml de agua destilada que se reúnen con los filtrados. Se concentran éstos hasta unos 350 ml y se añaden 5 ml CIH concentrado, después se precipitan los sulfatos con solución de cloruro bórico al 10 por 100, siguiendo el mismo método indicado en el análisis químico para el cemento portland. La diferencia entre la cantidad de SO_3 encontrado por este procedimiento (corregida en el caso de que el ensayo en blanco practicado con la arena hubiera sido positivo) y la cantidad de SO_3 que contenía originalmente la muestra de cemento ensayado, se expresa en % referido al SO_3 originalmente contenido en el cemento.

Dicho valor se denomina índice de sulfatos.

Según este método, aquellos cementos cuyo índice de sulfatos sea inferior a 50 resisten en buenas condiciones la acción agresiva de las aguas sulfatadas.

Aquellos cuyo índice es superior a 56 se atacan con facilidad y aquellos que están comprendidos entre 50-60, las condiciones de puesta en obra determinarán, más que en ningún otro caso, el que el cemento se altere o se mantenga en buenas condiciones.

La anterior clasificación fue deducida por Taylor y Bogue al comparar los valores obtenidos para los índices de sulfatos, con los ensayos de expansión que experimentaban probetas de hormigón fabricadas con el mismo tipo de cemento conservadas durante tres años en soluciones al 2 por 100 de sulfato sódico o sulfato magnésico, así como el valor de resistencia a la compresión que obtienen para probetas de hormigón que se han conservado durante cinco años en soluciones salinas frente a las que en ese mismo tiempo se obtienen al conservarlas en agua.

En aquellos cementos con un índice de sulfatos inferior a 50, la expansión máxima que ofrecen las probetas fabricadas con ellos es del 1 por 100 y en ningún caso había desintegración. También la resistencia que a los cinco años presentan esas probetas es siempre superior al 55 por 100 de la resistencia normal. Las probetas fabricadas con cementos cuyo índice de sulfatos es superior a 56, se desintegran en ambas soluciones en el plazo de los tres años y presentan una resistencia a la compresión inferior al 55 por 100 de su resistencia normal.

Aquellas probetas fabricadas con cementos cuyo índice de sulfatos estaba comprendido entre los 50 y 56, tanto en las medidas de expansión como en las de resistencia a la compresión, presentan valores divergentes, lo que parece indicar que, más que nada, las condiciones de puesta en obra determinarán el comportamiento de dichos cementos.

Se han sometido a este ensayo los ocho tipos distintos de cementos seleccionados, pero además se ha preparado un noveno cemento a base del clínker que se utiliza en la fabricación del cemento ABRA y yeso.

Se ha tenido en cuenta en este ensayo el % de SO_3 correspondiente al azufre de sulfuros y, por lo tanto, la manera de determinar el % SO_3 de los cementos ha sido la siguiente:

En primer lugar se ha determinado el % de SO_3 total, para lo cual se trató 1 g de cada cemento con agua de bromo con el fin de oxidar el posible azufre de sulfuros existente en las muestras. Por otro lado, se determinó el azufre al estado de sulfuro que contenía cada cemento ensayado,

para lo cual se utilizó el aparato Schult-Franke. La cifra obtenida por la diferencia entre el % de SO₃ total hallado en cada cemento y el % de SO₃ formado por la oxidación del azufre al estado de sulfuros que contienen los cementos, se ha tomado como el % de SO₃ inicial contenido en los cementos.

Después de seguir el método operativo recomendado por Taylor y Bogue, se han obtenido los resultados consignados en la tabla XVII.

TABLA XVII

CLASE DE CEMENTO	% SO ₃ Total	% SO ₃ correspondiente al azufre de sulfuros	Diferencia entre % SO ₃ total y SO ₃ correspondiente al azufre de sulfuros	% SO ₃ hallado en la disolución	Diferencia	Indice de sulfatos
Portland siderúrgico	3,14	1,15	1,99	0,68	1,31	65,82
Supercemento	2,25	0,095	2,155	0,86	1,295	60,09
Portland	2,84	0,0235	2,8165	1,15	1,6665	59,16
Portland de horno alto	4,059	1,425	2,634	1,25	1,384	52,56
50 % portland y 50 % natural...	1,57	0,03	1,54	0,68	0,86	55,84
ABRA	4,85	2,5	2,35	1,68	0,67	28,56
PAS	2,40	0,035	2,365	1,71	0,655	27,61
Supercemento puzolánico	2,40	0,0375	2,362	1,74	0,6225	26,34
Clínker utilizado en la fabricación de ABRA + yeso	4,43	0,0375	4,3925	3,509	0,8835	20,11

5.º Ensayo de Merriman

Los ocho cementos han sido sometidos también al ensayo de Merriman.

Se amasaron 150 g de cada uno de ellos durante 1 min con el 43 por 100 de agua. Esta pasta se vertió sobre un cristal cubierto con una hoja de papel, sobre el cual se colocaron unas bolitas de acero de 4,75 mm de diámetro, las cuales se impregnaron de parafina, después se cubrió la pasta con otra placa de cristal forrada también con otra hoja de papel.

Estas placas se conservaron 24 hr en cámara húmeda y después se sumergieron durante 24 hr en agua.

Pasado este tiempo se separaron los cristales y se cortó la pasta para preparar unas placas de unas dimensiones de 5 × 10 centímetros.

En un extremo de estas placas se perforó un agujero.

Las placas se suspendieron durante 24 hr en agua destilada. Se prepararon posteriormente unas soluciones al 10 por 100 de sulfato sódico, y el volumen de estas soluciones fue de 1.500 centímetros cúbicos.

Las placas se sumergieron en las soluciones de sulfato sódico, de forma que tuvieron por encima un espesor de líquido de 2,5 centímetros.

Cada 24 hr se neutralizaron las soluciones con ácido sulfúrico 6 N, con el fin de sustituir el sulfato combinado.

Durante la neutralización se sacaban las placas fuera de la solución y se fue anotando los centímetros cúbicos de ácido sulfúrico gastados cada 24 horas (gráfico VI).

Al cabo de tres meses de inmersión, las placas presentan el aspecto de las figuras 3 y 4.

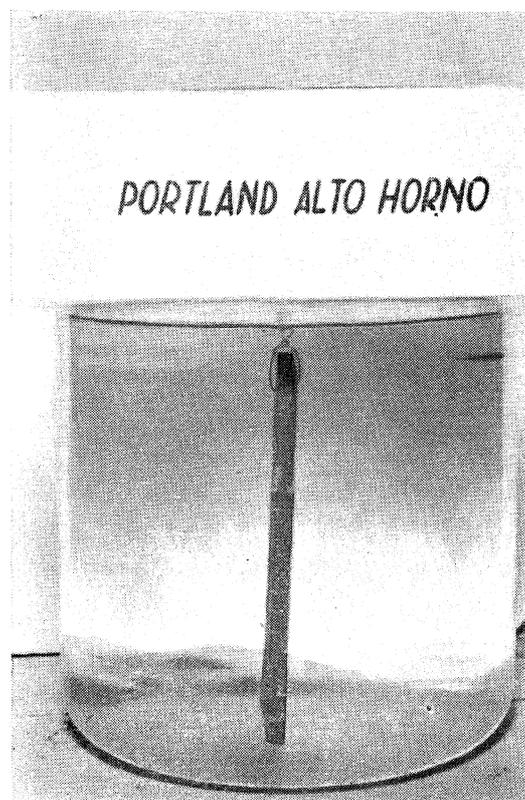
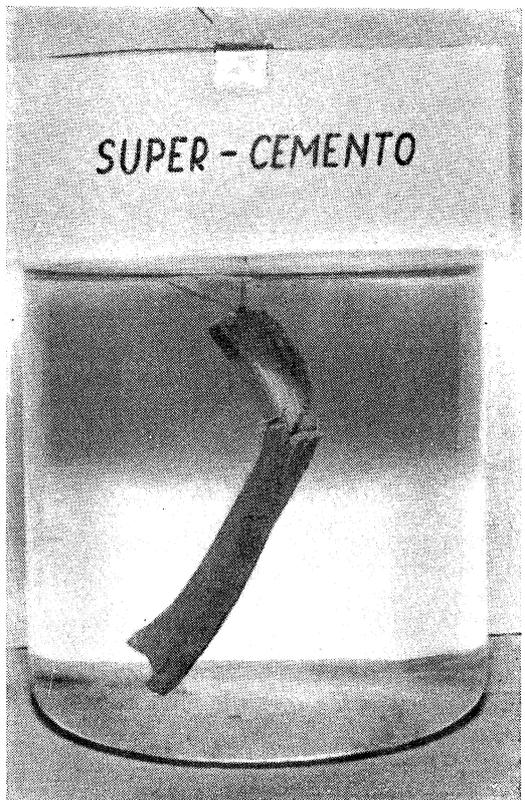
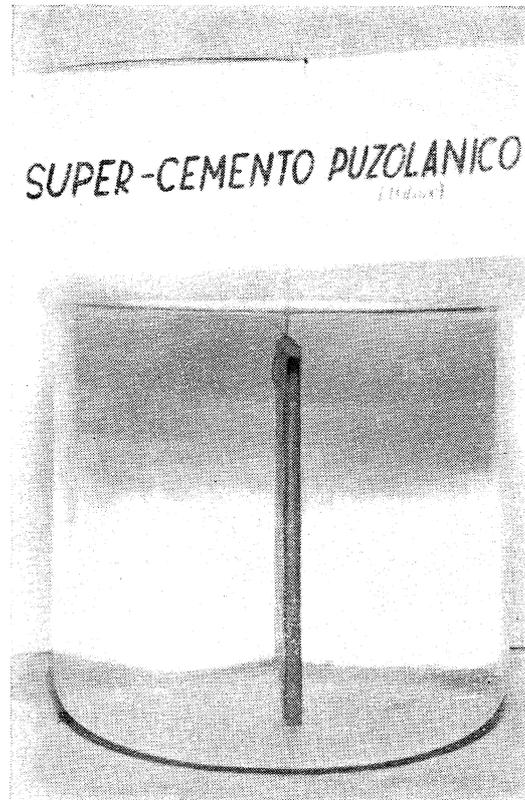
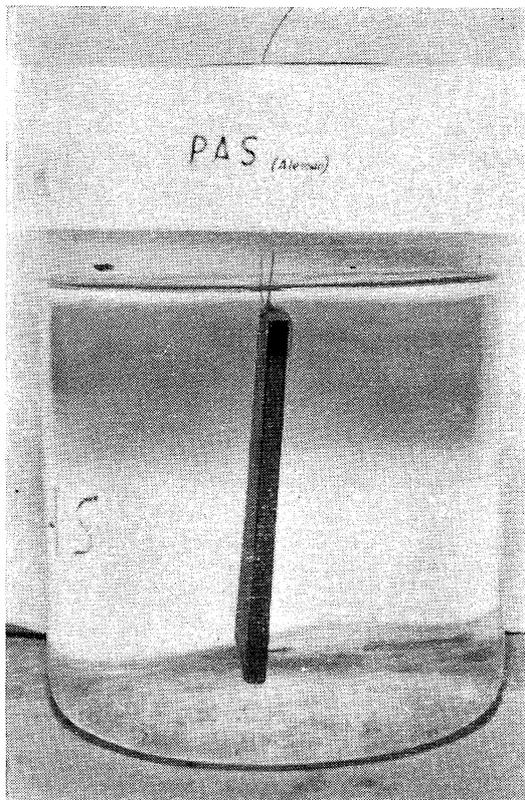


Fig. 3.

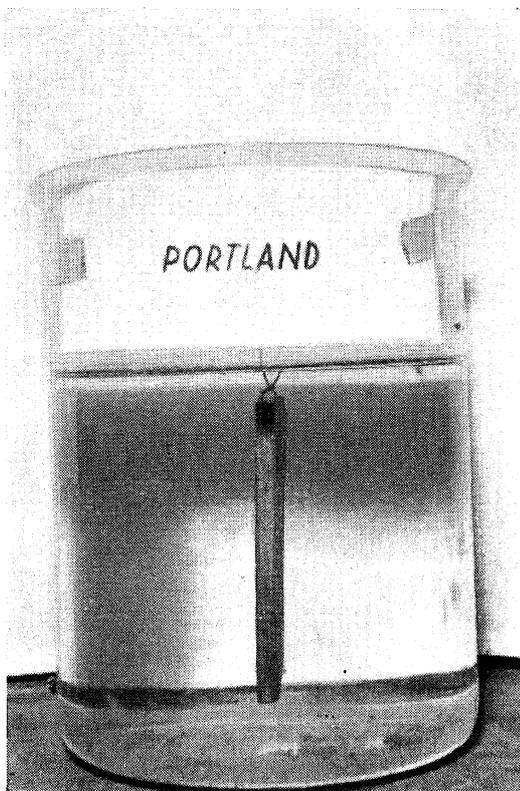


Fig. 4.

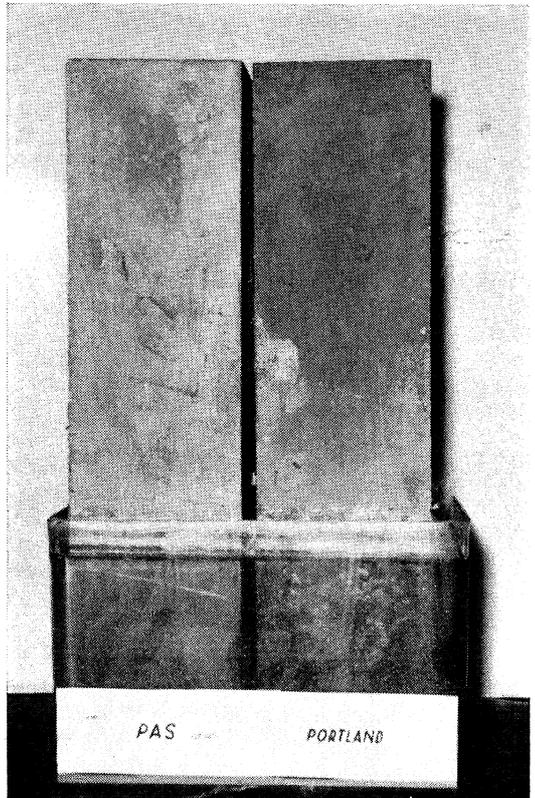
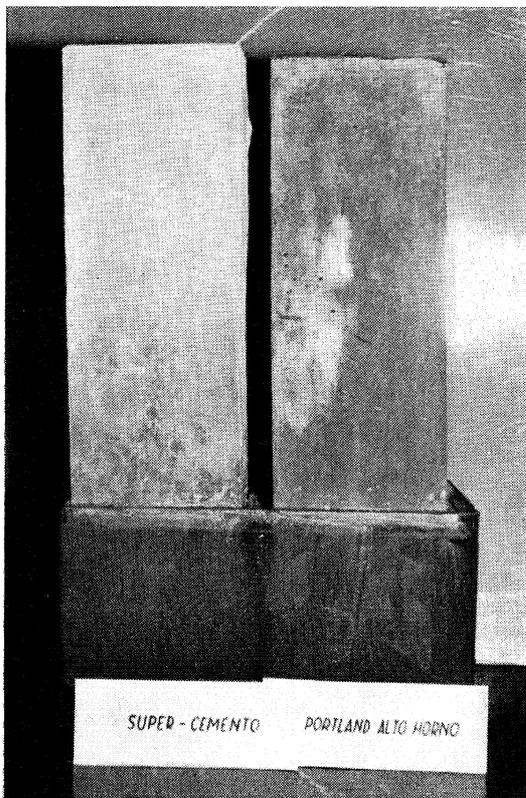
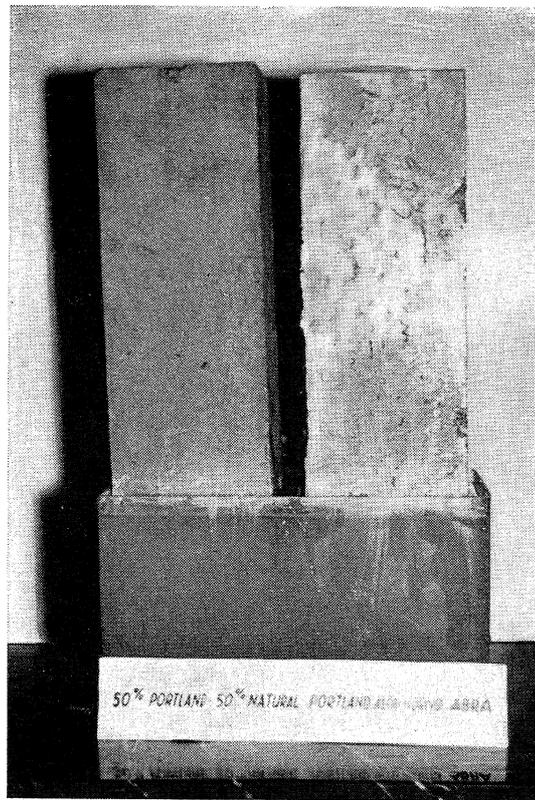
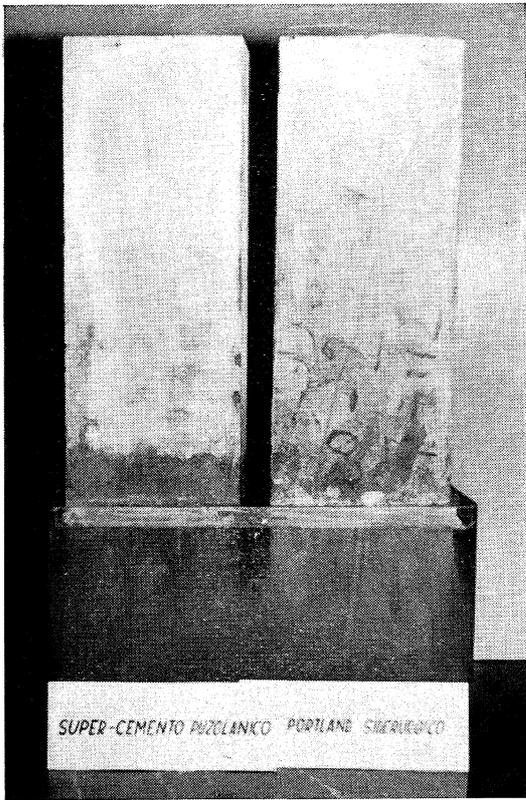


Fig. 5.

6.º Ensayo de agresividad del yeso al hormigón

Hasta el presente, los ensayos para ver el comportamiento de los hormigones ante la agresividad producida por los yesos se limitaba a conservar, durante un amplio período de tiempo, las probetas de hormigón sumergidas en la solución saturada o enterrar dichas probetas en yeso.

Hasta aquí hemos sometido los ocho tipos de cementos a diversos ensayos; ahora expondremos los resultados que se han obtenido con hormigones efectuados a base de dichos cementos. Este ensayo pretende ver la resistencia de los correspondientes hormigones al medio agresivo en un plazo corto.

La porosidad de un hormigón es uno de los factores más importantes para la buena resistencia ante los agentes agresivos, ya que facilita o impide que dichos agentes penetren en el interior de la masa de hormigón. Por otro lado, el cemento utilizado en el hormigón es el elemento más susceptible de ser agredido. Además, el fenómeno de la corrosión se presenta, en muchas ocasiones, por encima del nivel alcanzado por las aguas, que llevan disueltos los agentes corrosivos, puesto que las aguas penetran en el interior del hormigón y por capilaridad ascienden, de manera que al llegar fuera del nivel del agua se concentran debido a la evaporación, lo cual origina la cristalización de las sales, dando lugar a las tensiones correspondientes.

Se prepararon probetas prismáticas de hormigón de $10 \times 10 \times 40$ cm y se mantuvieron sumergidas en una solución sobresaturada (9-10 g/l) de yeso durante 3 y 6 meses. Se fijó como fecha de rotura las edades anteriormente citadas, y el ensayo de compresión se efectuó en tres secciones de cada probeta de 10×10 cm; dichas secciones serían de las zonas siguientes: 1.ª, zona sumergida; 2.ª, zona próxima al nivel de agua; 3.ª, zona conservada al aire (fuera del contacto de las sustancias agresivas).

Se considera que si la 3.ª zona da una resistencia superior a las otras dos, el cemento utilizado para la confección del hormigón no es resistente a los sulfatos.

En la preparación de los hormigones las dosificaciones utilizadas se hicieron pensando lograr una masa rica en cemento y que resultara porosa y permeable, con el fin de facilitar el acceso del medio agresivo al interior del mismo.

La dosificación fue la siguiente:

Guijo de 30 a 10 mm	7,900 kg
Arena de 5 a 10 mm	2,800 kg
Cemento	4,250 kg
Agua	3,400 l

Relación: $a/c = 0,8$.

Al llenar los moldes se cuidó de que las paredes no estuvieran aceitadas y se desencofraron a las 24 hr, introduciendo las probetas en agua dulce durante 10 días para su curado y total hidratación. Seguidamente se sacaron del agua y se mantuvieron en ambiente seco que oscilara entre los 18 y 25° C hasta los 28 días.

Al cumplir los 28 días se introdujeron las probetas verticalmente (fig. 5) en unos recipientes que contenían una solución al 10 por 100 de cloruro sódico saturado de yeso natural machacado. El nivel de esta solución se situó hasta una altura de la probeta de 13 centímetros.

Se conservaron todas las probetas hasta su ensayo a las edades de 3 y 6 meses (tabla XVIII). Durante el período de conservación se fue manteniendo el nivel primitivo de la solución empleando siempre la solución de cloruro sódico saturada de yeso.

TABLA XVIII. Resultados de las roturas a compresión de las probetas de hormigón de 10 × 10 × 40 centímetros, a los tres y seis meses de inmersión en agua saturada de yeso.

Hormigón a base de cemento	Resultado de las roturas a compresión, en kg/cm ² Zonas de rotura					
	A los 3 meses			A los 6 meses		
	Sumergida	Media	Alta	Sumergida	Media	Alta
PAS	170,85	144,—	144,—	166,25	166,25	166,25
ABRA	162,9	169,5	162,9	185,—	180,—	180,—
Supercemento puzolánico. ...	184,25	206,02	174,—	212,8	212,8	212,8
Supercemento	216,12	232,25	216,—	251,—	224,—	264,—
Portland siderúrgico	129,62	142,97	169,57	174,—	180,—	187,—
Portland de horno alto	123,—	133,—	133,—	182,5	214,4	214,4
Portland	162,9	162,9	172,—	169,2	167,5	174,—
Mezcla de 50 % de natural y 50 % de portland	79,8	106,4	113,—	87,1	87,1	98,82

7.º Ensayo de incremento de longitud en probetas de mortero normal sumergidas en soluciones sulfatadas

Se prepararon con cemento ABRA, portland y portland siderúrgico, probetas prismáticas de 286 × 25,4 × 25,4 mm de mortero normal (1 : 3); este mortero se introdujo en los moldes sin compactar y se rascó la cara vista.

En los extremos de cada probeta se colocaron bolas de acero de 1/4 de pulgada de diámetro, que se fijaron en pequeñas cavidades, recibíendolas con cemento aluminoso. Todas las probetas se curaron en cámara húmeda durante 28 días.

De cada clase de cemento se prepararon seis probetas, de las cuales se introdujeron dos en agua, dos en solución de sulfato magnésico al 0,5 por 100 y las otras dos en una solución de sulfato sódico al 1 por 100.

Antes de introducir las probetas en agua y en las soluciones sulfatadas se tomó la longitud de cada una de ellas, y con un comparador de 1 a 100 mm se fue midiendo las variaciones de longitud que experimentaron hasta el plazo actual, que es de 62 semanas.

En los gráficos VII, VIII y IX se aprecia el desarrollo durante el tiempo que ha durado el ensayo de las variaciones de longitudes de las probetas en las tres condiciones de conservación utilizadas.

Este ensayo se está llevando a cabo en los Laboratorios de Ensayo e Investigación Industrial, Leandro José de Torrontegui Ibarra, anexo a la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Bilbao, quienes lo iniciaron a requerimiento nuestro y lo continuaron hasta largo plazo.

GRAFICO VII

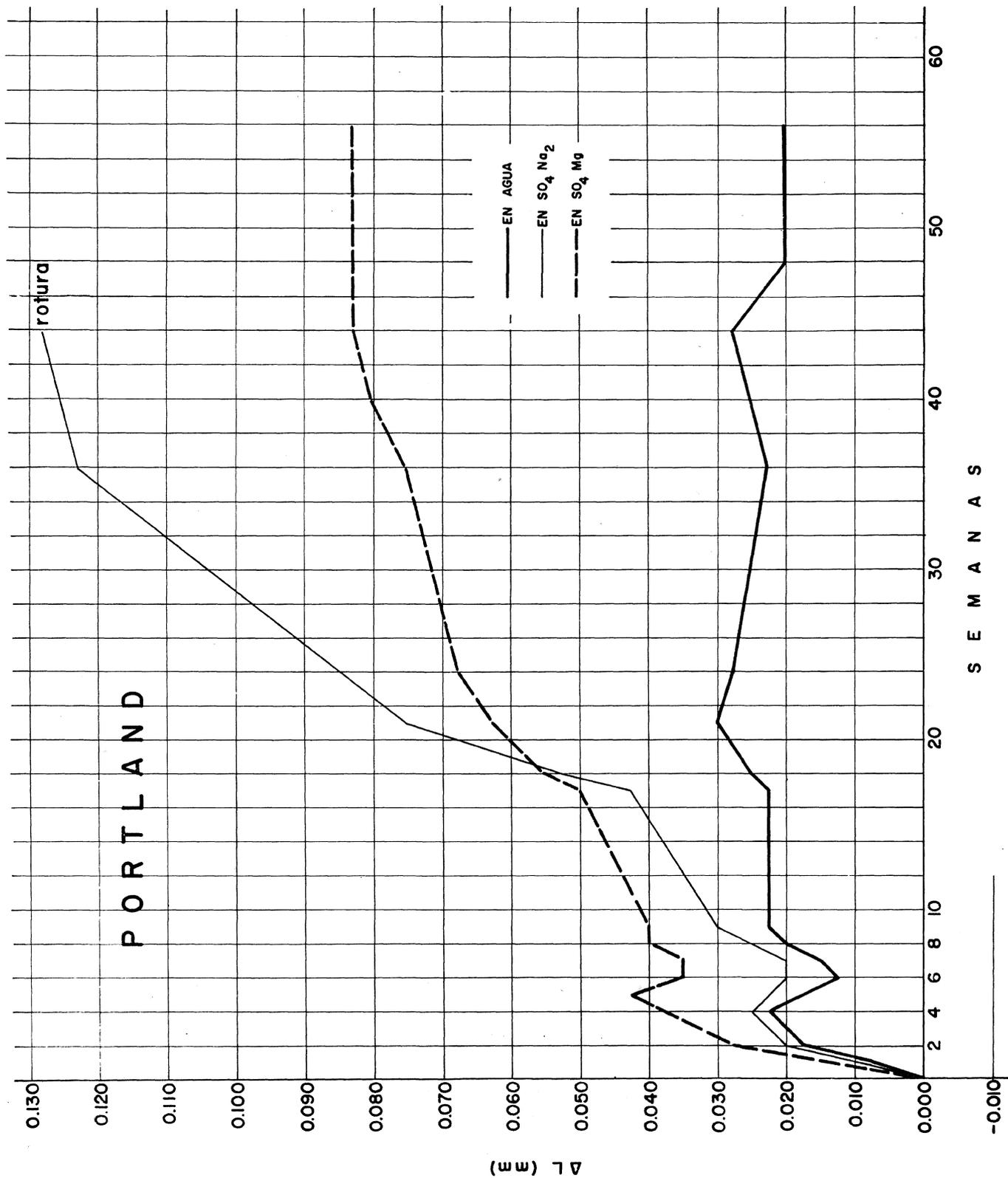


GRAFICO VIII

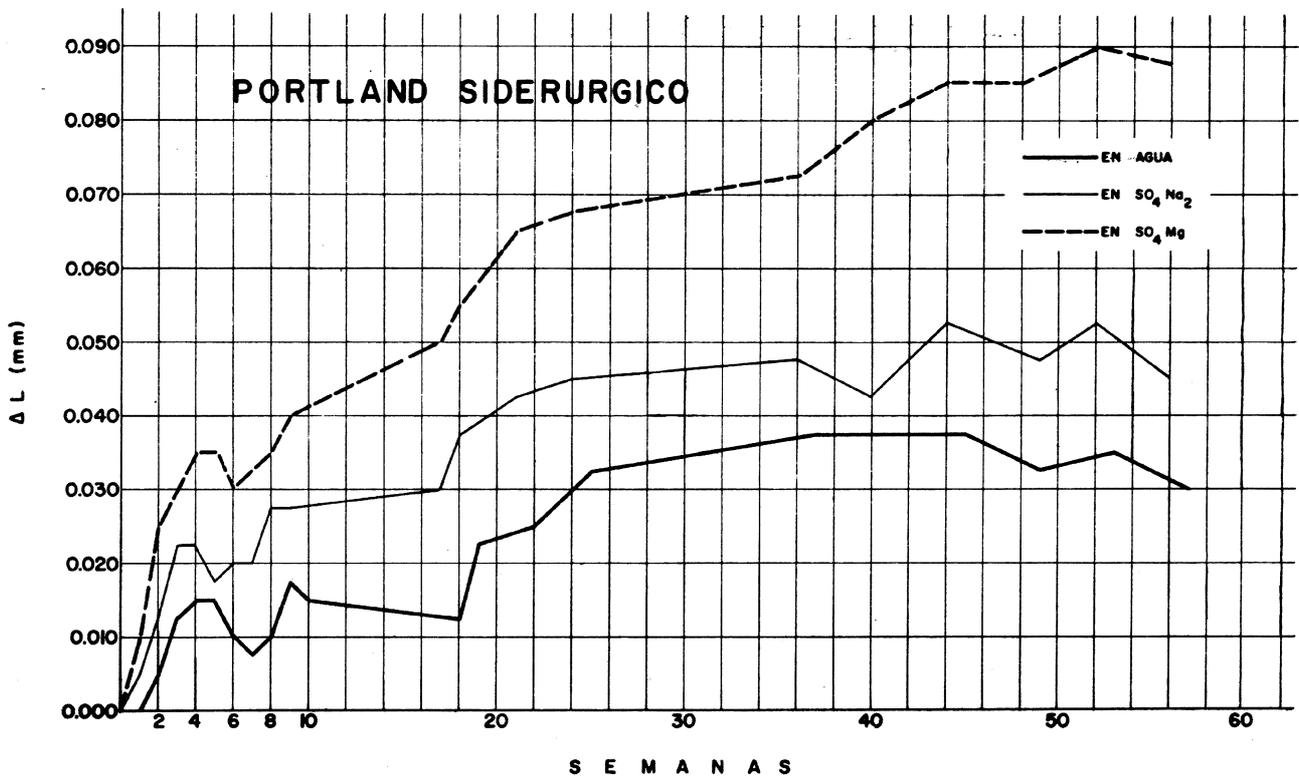
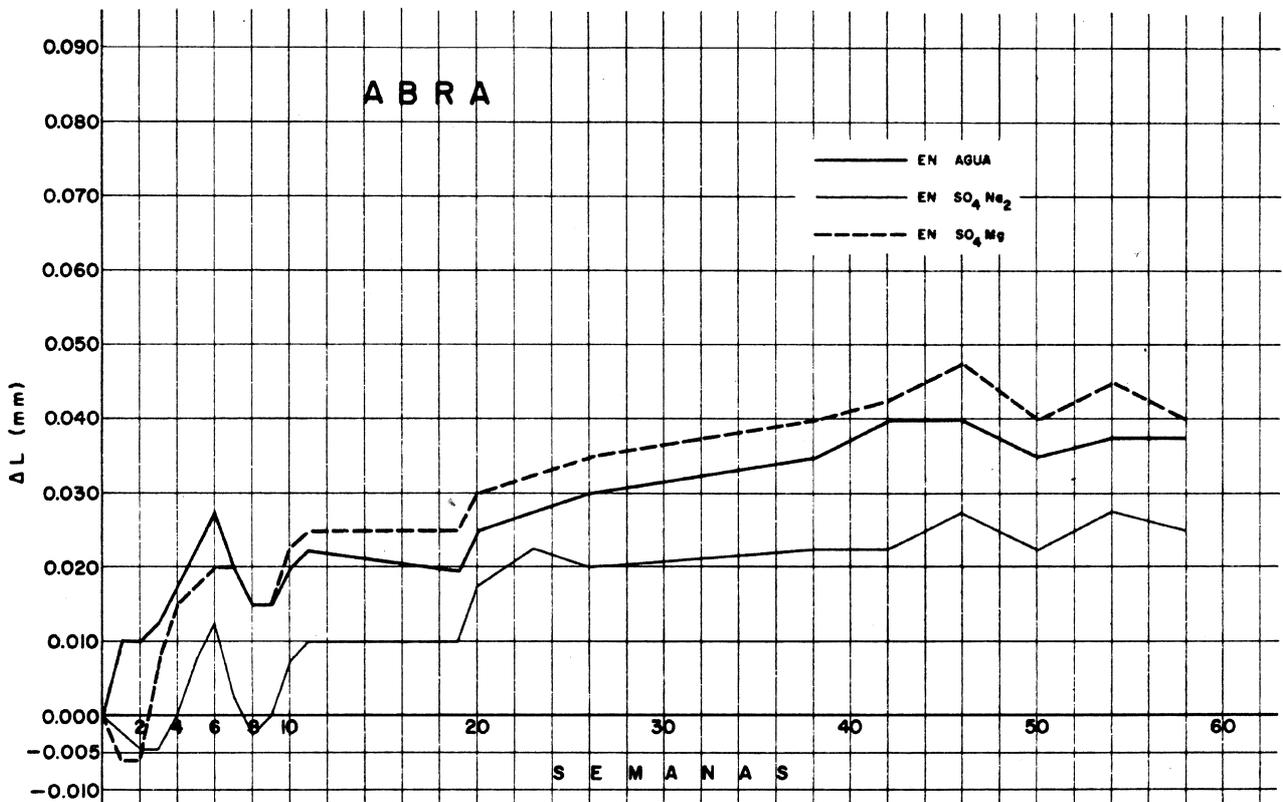


GRAFICO IX



8.º Resistencia del cemento ABRA al ataque de los yesos a largo plazo

8.1. En mortero normal

Con fecha del mes de enero del año 1962 se prepararon probetas de $4 \times 4 \times 16$ cm con mortero normal y se procedió a su enterramiento en yeso natural. El recipiente que contenía dicho yeso se ha conservado hasta esta fecha a la intemperie.

Se prepararon probetas con cemento portland, con portland siderúrgico y con ABRA.

Se ha procedido en estas fechas, es decir, casi al cabo de los tres años, a extraer las probetas, comprobando, como se aprecia en la figura 6, que tanto las probetas confeccionadas con cemento portland como con portland siderúrgico mostraban en sus caras señales inequívocas de agresión, y que las confeccionadas con cemento ABRA muestran caras totalmente lisas, exentas de ataque alguno.

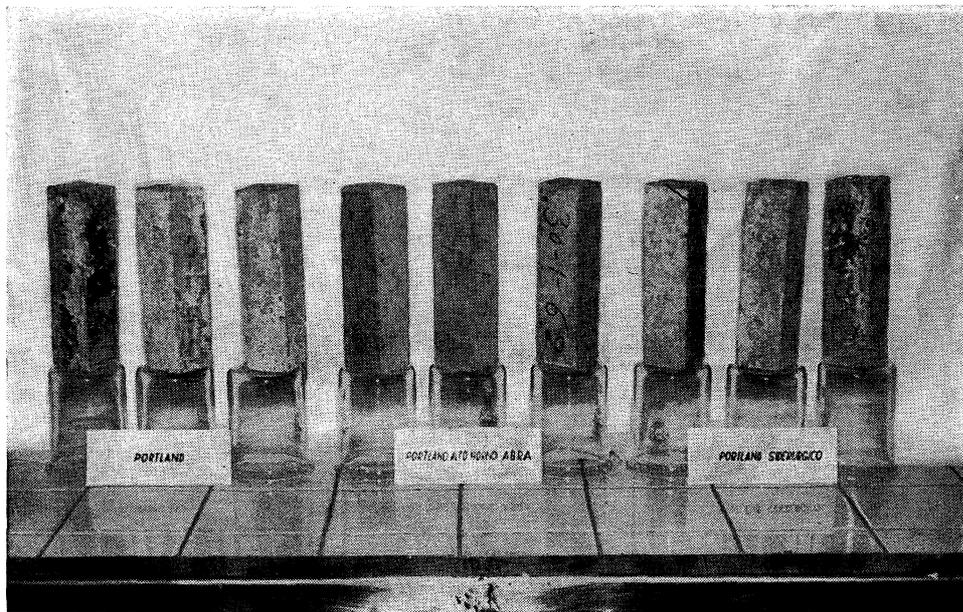


Fig. 6.

8.2. En hormigón

En noviembre del año 1962 se prepararon una serie de placas de hormigón de las siguientes dimensiones: $500 \times 400 \times 40$ milímetros.

Se prepararon dos dosificaciones de cemento ABRA por metro cúbico. Las dosificaciones que se prepararon fueron las siguientes:

Primera dosificación:

Guijo menor de 10 mm y mayor de 7 mm	880 kg
Guijo menor de 5 mm y mayor de 3 mm	420 kg
Arena de 0 a 3 mm	450 kg
Cemento ABRA	350 kg
Agua	168 kg

Segunda dosificación:

Guijo menor de 10 mm y mayor de 7 mm	860 kg
Guijo menor de 5 mm y mayor de 3 mm	420 kg
Arena de 0 a 3 mm	410 kg
Cemento ABRA	400 kg
Agua	192 kg

Con dichos hormigones se procedió a llenar los moldes de las futuras placas, se compactaron a mano las masas, raseando posteriormente la cara vista.



Fig. 7.

correspondientes a los cementos PAS, supercemento puzolánico, ABRA y cemento a base de clinker utilizado en la fabricación de ABRA molido juntamente con yeso.

Este ensayo, debido a la elevada presión (de 80 kg/cm²) ejercida sobre las pastillas, no ha permitido medida alguna del reblandecimiento de cada tipo de cemento, así como tampoco del aumento de diámetro experimentado, ya que con todos los tipos de cemento se han obtenido pastillas en las cuales no dejaba huella la aguja de Vicat, y, por otro lado, el aumento de diámetro ha sido muy similar en todos ellos hasta el momento del agrietamiento y la disgregación, tal y como se aprecia en las fotografías. Dicha disgregación resultó muy brusca y aparatosa.

La razón por la cual se ha realizado también este ensayo siguiendo las modificaciones introducidas al método por L. Blondiau, ha sido únicamente debido al deseo de comparar entre sí los comportamientos de los cementos que han resistido el primer ensayo y por ver cómo se comportan los cementos portland de horno alto normal y la mezcla del 50 por 100 de portland con

Estas placas se mantuvieron en los moldes 24 hr, después de las cuales se desmoldaron y se metieron en agua dulce para su curado durante 15 días.

En estas fechas, es decir, a los dos años de enterramiento de las placas de hormigón en yeso natural, se ha procedido al desenterramiento y observación del estado de dichas placas.

Como se aprecia en la figura 7, tanto las placas dosificadas con 350 kg de cemento ABRA por m³ de hormigón como las dosificadas con 400 kg/m³ no han presentado síntoma ninguno de ataque producido por el yeso, mostrando las caras exentas de incrustaciones, hasta tal punto que se pueden leer perfectamente las marcas que en su día se colocaron en cada placa.

COMENTARIOS A LOS ENSAYOS EFECTUADOS

1.º y 2.º Ensayo de Le Chatelier-Anstett

El ensayo de Le Chatelier-Anstett, señalado en primer lugar, ha tenido un resultado radical, puesto que como consecuencia de su rigurosidad, al final del ensayo, únicamente han quedado intactas las pastillas

el 50 por 100 de cemento natural, los cuales habían tardado cierto tiempo más en mostrar agrietamiento y además en su disgregación presentaban trozos de mayor tamaño que el portland, el supercemento y el portland siderúrgico.

Se ha observado que con el cemento PAS, el ABRA y el preparado con clínker utilizado en el ABRA, las pastillas no permiten la penetración de la aguja de Vicat. El cemento superpuzolánico ha presentado en las pastillas cierto retraso en el endurecimiento, siendo este retraso más marcado en el portland de horno alto y la mezcla de portland y de natural. Los demás cementos presentan una dureza nula a todo lo largo del ensayo.

Respecto al aumento de diámetro, el supercemento puzolánico ha sido el más inalterado. El supercemento, el portland y el portland siderúrgico no han permitido la toma de medida de su diámetro debido que, a corto plazo, la disgregación, y por lo tanto la irregularidad de su contorno, lo hacía imposible.

El portland de horno alto y la mezcla de 50 por 100 de portland y 50 por 100 de natural, no presentan cifras muy elevadas de aumento de su diámetro, pero a los 10 y 13 días, respectivamente, el agrietamiento no permitía la medida.

El cemento PAS, el ABRA y el preparado con clínker utilizado en el cemento ABRA presentan cifras relativamente similares, siendo el PAS el que mayor % de aumento presenta. A los 28 días del ensayo, los tres cementos anteriormente señalados y el supercemento puzolánico no presentaban grieta alguna, lo cual continúa sucediendo a los dos meses y medio del comienzo del ensayo.

No cabe la menor duda de que la severidad de estos ensayos es extremada y de que, desde luego, los cementos que han podido soportarlos poseerán, por su constitución química, una total indiferencia al ataque de los sulfatos y, por lo tanto, a la acción de los terrenos yesíferos, aguas selenitosas y marinas.

No obstante, ha habido dos tipos de cementos (portland de horno alto y mezcla de 50 por 100 de portland y 50 por 100 de natural) que, por su comportamiento en el ensayo efectuado con las modificaciones de L. Blondiau, parecen mostrar cierta resistividad al ataque de los sulfatos, aunque su agrietamiento, no cabe la menor duda, sea debido a que la cantidad de sulfoaluminato cálcico formado en el interior de las pastillas haya sido suficiente como para producir la disgregación de las mismas y que, por lo tanto, la constitución química de estos conglomerantes puede ocasionar un ataque de los sulfatos que, naturalmente, dependerá de la intensidad de la agresividad del medio.

Este ensayo ha sido y es motivo de controversias muy dispares; nosotros únicamente nos hemos limitado a incluirlo en este estudio, al igual que hemos hecho con los demás métodos, los cuales hay que considerar que también tienen sus adeptos y sus detractores.

3.º Ensayo de Koch-Steinegger

Según este método de ensayo, aquellos cementos no resistentes a los sulfatos presentan una resistencia relativa (cociente entre la resistencia a flexotracción de las probetas sumergidas en sulfato sódico y en agua para cada edad), que cae por debajo de la unidad rápidamente, llegando a ser menor que 0,5.

En cambio, los cementos resistentes, después de una elevación inicial en la resistencia relativa por encima de la unidad, sufren posteriormente una disminución que tiende a acercarse a la unidad.

El cemento portland y el supercemento presentan ya, a los 14 días de inmersión en sulfato sódico, una resistencia relativa inferior a 1, siendo inferior a 0,5 a los 56 días. El portland de horno alto presenta a los 28 días una resistencia relativa ligeramente menor a la unidad, y a los 56 días esta resistencia es algo mayor que 0,5.

La mezcla de portland y cemento natural tiene, incluso a los 28 días, una resistencia relativa algo superior a la unidad y a los 56 días es ligeramente inferior a 1.

El portland siderúrgico a los 28 días tiene una resistencia relativa menor que la unidad, siendo a los 56 días el de menor resistencia relativa.

El cemento PAS ha tenido una resistencia relativa que ha sufrido muy poca disminución, siendo dichas resistencias algo inferiores a las del ABRA y a las del supercemento puzolánico, los cuales se han comportado de forma muy similar.

A medida que transcurre el tiempo de permanencia de las probetas en la disolución de sulfato sódico al 10 por 100, los iones sulfato se difunden en el interior de las microprobetas, para reaccionar con la cal y el aluminato tricálcico del aglomerante; por lo tanto, aumentará la alcalinidad de las disoluciones. Se determinó entonces el % de SO_3 en cada grupo de microprobetas, después de una inmersión de 20 días en agua y después de 14, 28 y 58 días en la disolución de sulfato sódico, con el fin de ver el aumento que cada tipo de cemento experimentaba en su concentración de iones sulfato. Para la determinación del % de SO_3 se tomaron las cuatro probetas de cada grupo después de su rotura y se desecaron a 100-105° C, se desmenuzaron y molieron hasta que no dejaron residuo sobre el tamiz de 900 mallas, homogeneizando posteriormente el polvo resultante y determinando entonces el porcentaje de SO_3 en cada grupo. Paralelamente se valoraron las disoluciones que contenían cada grupo de probetas con SO_4H_2 —2N y fenolftaleína.

El supercemento puzolánico y el cemento ABRA, cuyas resistencias relativas han sido las mejores, presentan en valor absoluto un aumento muy parecido en el % de SO_3 . Si tomamos como 100 el % de SO_3 de las microprobetas de cada tipo de cemento después de 20 días de inmersión en agua, y vemos el aumento en % que se ha experimentado a los 56 días de inmersión en sulfato sódico, comprobamos que el ABRA, con un índice de aumento de 164, y el supercemento puzolánico, con un índice de 176, son muy parecidos entre sí y los menores de todos los cementos sometidos a este ensayo. En cuanto a consumos de SO_4H_2 —2N de las disoluciones que han contenido estos dos cementos, han resultado los más bajos de todos.

Las probetas preparadas con cemento PAS, a pesar de haber tenido una resistencia relativa que induce a pensar que dicho aglomerante es resistente a los sulfatos, presenta un índice de aumento en la concentración de SO_3 de 255, valor alto comparativamente con los demás conglomerantes; pero teniendo en cuenta el porcentaje fuerte de CaO del cemento PAS, no resulta anormal, así como tampoco el consumo de sulfúrico de las disoluciones de ataque, comparativamente con los demás cementos, ha resultado elevada.

En el supercemento el índice de aumento en la concentración de SO_3 ha sido de 274, y el consumo de SO_4H_2 —2N de las disoluciones resultó el más alto de todos; unido esto a que sus resistencias relativas han sido menores que la unidad, puede decirse que este aglomerante no se ha comportado favorablemente.

La mezcla de portland y cemento natural ha dado un índice de aumento en la concentración de SO_3 de 294, es decir, el más alto de todos; y si tenemos en cuenta que el % de CaO existente en dicha mezcla es 52,72, es decir, relativamente pequeño, también resulta excesivo el número de centímetros cúbicos de ácido sulfúrico consumido por las disoluciones.

No obstante, las resistencias relativas han sido ligeramente menores a la unidad a los 56 días; pero, desde luego, tanto el valor absoluto como el desarrollo de las resistencias en estas probetas han sido tan pequeños que es fácil el pensar la influencia decisiva que haya podido tener en las resistencias relativas cualquier posible anomalía de confección, manipulación y rotura de las probetas.

El cemento portland y el portland siderúrgico, cuyos índices de aumento en la concentración de SO_3 han sido, respectivamente, 183 y 182, presentan también unas resistencias relativas bastante similares y que indican un comportamiento desfavorable.

Las probetas confeccionadas con portland de horno alto presentan unas resistencias relativas menores que la unidad y el índice de aumento en la concentración de SO_3 ha sido de 199.

4.º Ensayo de Taylor y Bogue

Al realizar este ensayo pudimos apreciar que los índices de sensibilidad a los sulfatos que nos resultaban en los cementos de escoria de horno alto incluidos en el ensayo, daban valores excesivamente altos y que, por lo tanto, no estaban en consonancia con los límites fijados por Taylor y Bogue en cuanto a resistividad química se refiere.

Por ejemplo; en el caso del cemento portland siderúrgico, la determinación del SO_3 por el método normal de análisis había dado un % de $\text{SO}_3 = 2,48$, y en el caso del cemento ABRA había resultado 2,96; los índices de sensibilidad a los sulfatos que se obtenían con estas cifras eran, respectivamente, 72,6 y 45,3; en cambio, en el supercemento, el % de SO_3 era igual a 2,16, y el índice resultaba igual a 60,2; y en el PAS, el % de SO_3 fue igual a 2,38 con un índice de 28,1. Dado que en los demás métodos de ensayo el comportamiento del supercemento y del portland siderúrgico había sido similar, así como el del PAS, y el del ABRA, parecía lógico pensar que los índices respectivos de sensibilidad a los sulfatos fueran semejantes también.

Se pensó que los valores altos resultantes podrían ser consecuencia de que el valor del SO_3 encontrado en los cementos fuera dado con un error por exceso debido a una oxidación parcial del azufre de sulfuros correspondiente a la escoria, oxidación que podría producirse durante el ataque de la muestra de cemento. Por lo tanto, se procedió a determinar, en todos los cementos, el % de SO_3 total existente y el % de SO_3 correspondiente al azufre de sulfuros.

Comparando los valores obtenidos por el método corriente de análisis para el % de SO_3 en el portland siderúrgico y en el ABRA y los obtenidos por diferencia, se comprobó que los valores obtenidos por diferencia eran menores y que, en cambio, para el supercemento y para el PAS los % resultantes para los dos métodos eran muy similares.

De los nueve tipos de cementos sometidos al ensayo, ha habido cuatro cuyos índices de sensibilidad a los sulfatos están comprendidos entre 20 y 30. Estos cementos han sido el supercemento puzolánico, el ABRA, el PAS y el preparado con clínker utilizado en la fabricación de ABRA más yeso; el portland de horno alto y la mezcla de 50 por 100 de portland y 50 por 100 de cemento natural, han tenido unos índices de 52,56 y 55,84, respectivamente, es decir, comprendidos entre 50 y 56.

El portland siderúrgico, supercemento y portland, han dado un índice superior a 56.

No nos cabe la menor duda de que este método nos hubiera resultado no aplicable a aquellos cementos de escoria de horno alto, en el caso de no tener en cuenta el SO_3 correspondiente al azufre de sulfuros. No obstante, es indudable que sería necesario el perfeccionar más el método y precisar la forma de operar con cada clase de cemento, pues este ensayo, debidamente normalizado, permitiría a corto plazo determinar en los cementos la «alúmina activa» y, por lo tanto, podría ser indicado para el control de los cementos a emplear en aquellas obras cuyos Pliegos de Condiciones exijan cementos de bajo contenido en C_3A .

5.º Ensayo de Merriman

Las placas de los ocho cementos sometidas a este ensayo no presentan, después de 3 meses, señales de ataque suficientes como para determinar qué cementos han resistido el ensayo y cuáles no. Únicamente puede hacerse constar que la placa de supercemento y la de portland de horno alto presentan cierto alabeamiento, y que las placas de portland, portland siderúrgico y mezcla de 50 por 100 portland y 50 por 100 natural presentan alabeamiento y afloramiento de sales en sus bordes.

Las placas de cemento PAS, supercemento puzolánico y ABRA son, desde luego, las que por su apariencia externa parecen más inalteradas.

6.º Ensayo de agresividad del yeso al hormigón

Como ya se ha advertido en la descripción de este ensayo, se ha procurado favorecer la penetración del agente agresivo en el interior de las probetas confeccionando un hormigón poroso. Di-

cho hormigón, como es natural, presentará, al estar parcialmente sumergido, zonas cuyo grado de exposición al ataque sean distintas.

Es indudable que aquellos cementos que resistan a la agresión química de los sulfatos presenten, en las resistencias mecánicas de los hormigones confeccionados con ellos, una gran similitud en las tres zonas ensayadas de cada probeta.

En la tabla correspondiente a este ensayo se ve claramente que los hormigones confeccionados con cemento PAS, ABRA y supercemento puzolánico, se han comportado en el momento de la rotura de forma positiva.

La zona sumergida del hormigón confeccionado con cemento PAS a los 3 meses ha dado una resistencia superior a las otras dos, y a los 6 meses, las tres zonas dan una resistencia similar.

En el hormigón confeccionado con supercemento puzolánico la zona media, a los 3 meses, da resultados superiores, pero, no obstante, la zona inferior da mayor resistencia que la zona alta. A los 6 meses las tres zonas dan una idéntica resistencia.

En el hormigón confeccionado con cemento ABRA, la zona media da una resistencia algo superior a las otras dos, pero, sin embargo, los resultados de la rotura de la zona baja y la zona alta de la probeta son iguales. A los 6 meses las tres zonas dan iguales resultados.

El supercemento presenta a los 3 meses una resistencia en la parte alta algo superior a las otras dos, pero, en cambio, los resultados de la rotura de la zona baja y la zona alta de la probeta son iguales. A los 6 meses las tres zonas dan iguales resultados.

El supercemento presenta a los 3 meses una resistencia superior en la zona media y a los 6 meses la zona media es la de menor resistencia, siendo la zona alta la más resistente de las tres.

En los hormigones confeccionados con portland siderúrgico, tanto a los 3 como a los 6 meses, la zona baja es la menos resistente, después la media y la de mejor resistencia es la alta.

En los de cemento portland de horno alto, tanto a 3 como a 6 meses, la zona baja es la menos resistente, siendo las otras dos de igual resistencia.

En los hormigones a base de cemento portland, la zona alta de las probetas ha dado mayor resistencia que las otras dos. Igual que en el caso anterior se encuentran las probetas confeccionadas con mezcla de portland y natural.

Llama la atención en los resultados el que en el hormigón de cemento portland y en el de supercemento, la zona más afectada por el ataque haya sido la zona media a la edad de 6 meses.

En la mezcla de portland y natural a la edad anterior, han sido afectadas por igual las zonas media y sumergida.

En el hormigón de portland siderúrgico el descenso de resistencia ha sido gradual desde la zona alta a la sumergida.

En el portland de horno alto ha descendido notablemente la resistencia en la zona sumergida.

En el hormigón de cemento tipo PAS y supercemento puzolánico las resistencias han sido a los 6 meses similares en las tres zonas, y en el cemento ABRA, incluso, ha resultado una resistencia superior en la zona sumergida.

En el transcurso del ensayo se ha observado que en todas las probetas había efflorescencias de sales en la superficie, incluida la zona elevada. Nos llama la atención esto, debido a que nos induce a pensar que en lo que respecta a la pérdida de resistencia de los hormigones ante un ataque de sulfatos, no tiene mayor trascendencia la aparición de dichas sales, las cuales, en los ensayos de rotura, no han producido pérdida de resistencia en las probetas confeccionadas con cemento PAS, ABRA y supercemento puzolánico. Confirma este hecho el que incluso ha habido

hormigones que habiendo tenido marcada pérdida de resistencias en las zonas afectadas, no han mostrado una aparición tan masiva de eflorescencias, como en algunos que se han comportado positivamente.

De los hormigones de cemento portland, mezcla de 50 por 100 de portland y 50 por 100 natural, y portland de horno alto, no han mostrado aparición de eflorescencias casi en absoluto. Es decir, que, a nuestro modo de ver, la aparición de eflorescencias no implica un ataque químico al hormigón y, por lo tanto, la pérdida de resistencias de un hormigón atacado no debe ser consecuencia únicamente de un fenómeno producido por tensiones mecánicas de cristalización de sales extrañas, originadas por la introducción de iones sulfato en su interior, sino de las correspondientes reacciones químicas que se originan entre los iones sulfato y los componentes susceptibles de ser atacados por dichos iones existentes en los cementos.

7.º Ensayos de incremento de longitud en probetas de mortero normal sumergidas en soluciones sulfatadas

Observando los incrementos de longitud experimentados por las probetas de cemento portland, portland siderúrgico y ABRA, conservadas en agua, se puede apreciar que dichas variaciones son muy similares, sobre todo en lo que respecta a las probetas de portland siderúrgico y ABRA, y que los incrementos de longitudes de estos dos son ligeramente superiores a la experimentada por las probetas de cemento portland.

El incremento de longitud experimentado por las probetas confeccionadas con cemento portland y con portland siderúrgico, que han estado sumergidas en sulfato magnésico al 0,5 por 100, ha resultado muy similar a lo largo de las 62 semanas del ensayo.

No ha ocurrido así con las probetas de cemento portland sumergidas en disolución de sulfato sódico al 1 por 100, las cuales se han ido doblando con el transcurso del tiempo hasta originar la rotura de la probeta a las 44 semanas de inmersión en la disolución de ataque; en cambio, en las probetas de portland siderúrgico, los incrementos de longitud de las probetas inmersas en sulfato sódico son menores que las experimentadas por las inmersas en sulfato magnésico. En cuanto a las variaciones experimentadas por las probetas confeccionadas con cemento ABRA, se aprecia que no existe aumento considerable de las longitudes de las probetas inmersas en las soluciones de ataque, puesto que las sumergidas en disolución de sulfato sódico, dan aún menores aumentos de longitud que las sumergidas en agua, y las sumergidas en sulfato magnésico dan aumentos ligerísimamente superiores.

CONCLUSIONES

El supercemento y el portland siderúrgico se han comportado de forma desfavorable a todos los tipos de ensayos a que han sido sometidos.

El C_3A correspondiente a estos cementos ha sido de 12,86 por 100 para el supercemento y de 7,10 por 100 para el portland siderúrgico. El clínker de que está compuesto este último ha dado un % de C_3A de 10,15.

El cemento portland se ha comportado mal en todos los ensayos, y únicamente en el ensayo de Merriman su comportamiento ha sido hasta cierto punto favorable. Su % de C_3A ha sido de 12,51.

El portland de horno alto se ha comportado mal en los ensayos de Le Chatelier-Anstett, en el de Koch-Steinegger y en el de agresividad del yeso al hormigón. En el ensayo de Taylor y Bogue su resistividad a los sulfatos le cataloga como medianamente resistente. En el ensayo de Merriman, aunque las placas aparecen algo afectadas, su comportamiento puede considerarse como mediano.

La mezcla de 50 por 100 de portland y 50 por 100 de cemento natural se ha comportado mal en los ensayos de Le Chatelier-Anstett y en el de agresividad del yeso al hormigón. En el ensayo de Koch-Steinegger, si se tienen en cuenta sus resistencias relativas, su comportamiento puede ser considerado como mediano, al igual que en el ensayo de Taylor y Bogue. En el de Merriman las placas presentan muchas eflorescencias y algo de alabeamiento, es decir, que han sufrido cierta alteración. Independientemente de su resistividad química, esta mezcla ha dado unas resistencias mecánicas a la rotura francamente bajas, lo cual desaconsejaría su utilización en la práctica.

Con el clínker utilizado en el portland de horno alto se ha tenido un portland de 12,51 por 100 de C_3A y, por tanto, este portland de horno alto tendrá aproximadamente 5-6 por 100 de C_3A . A la mezcla de portland y natural le corresponde un 6,25 de C_3A . Estos dos tipos de cementos, los cuales están preparados con clínker de portland normal, podrán ser considerados algo más resistentes que los del apartado anterior. Su % de C_3A es relativamente bajo; pero, no obstante, somos de la opinión de que tanto en estos dos cementos como en otro cualquiera de adición, el clínker de que se compongan conserva una individualidad propia y que, por consiguiente, al contacto con los iones sulfato se producirán los fenómenos de agresión consiguientes, los cuales, como es natural, serán menores cuanto menor sea el % de clínker. Es decir, que en los cementos de adición, el comportamiento ante la agresión de los sulfatos está íntimamente relacionado con la composición mineralógica del clínker utilizado.

El cemento PAS, el supercemento puzolánico y el cemento ABRA se han comportado perfectamente en todos los ensayos.

El cemento preparado a base del clínker utilizado en la fabricación del ABRA y yeso ha respondido asimismo bien a los ensayos a que ha sido sometido.

Tanto el cemento PAS como el clínker utilizado en el cemento ABRA, están exentos de C_3A . No se ha efectuado por el momento la separación de los componentes del supercemento puzolánico y, por tanto, no se ha determinado su porcentaje de C_3A , aunque, no obstante, su buen comportamiento señala ya una total ausencia de dicho componente.

Todos los ensayos realizados se han hecho con el fin de determinar el comportamiento ante los sulfatos de las muy diferentes clases de aglomerantes ensayados. No cabe duda que ningún ensayo de laboratorio puede determinar el comportamiento exacto que va a tener un conglomerante en la práctica; para ello sería necesario el determinar en cada caso las condiciones existentes, cosa que normalmente no se realiza de forma conveniente.

Por otro lado, sería necesario el normalizar tanto la forma de determinar las condiciones de agresividad del medio como establecer una graduación de agresividad con arreglo a la cual se fija el conglomerante y la clase de hormigón a emplear, lo cual ofrecería aún el peligro de que, un posible cambio de condiciones en el medio, originase los trastornos consiguientes. Por la dificultad que todo esto ofrece, es por lo que los ensayos de laboratorio, con el fin de determinar a corto plazo el comportamiento de los cementos ante los sulfatos, son a base de altas concentraciones del agente agresivo y, desde luego, el diferente comportamiento que distintas clases de conglomerante tienen ante dichos métodos de ensayo, sí permite dar un diagnóstico preliminar. No cabe la menor duda de que los cementos que resisten perfectamente los ensayos anteriormente expuestos, se comportarán bien en la práctica.

Podría pensarse que la rigurosidad de estos ensayos es excesiva y que dicha rigurosidad no se da en la mayor parte de los casos. No obstante, los daños ocasionados por el ataque de los sulfatos a los hormigones en nuestro país y en el resto del mundo, nos obligan a adoptar una postura de suma prudencia respecto a este problema. En los cálculos de las superestructuras, los coeficientes de seguridad que se emplean son amplios debido a que la experiencia así lo ha aconsejado. Teniendo en cuenta que la agresión química se produce generalmente en las bases de las estructuras de hormigón armado, con tanto cuidado calculadas, no es descabellado el hecho de someter al conglomerante que va a ser empleado en zonas de agresión a ensayos rigurosos. Cuando la agresividad del medio sea fuerte, la utilización de cementos resistentes a los sulfatos debe ser considerada como totalmente necesaria; y en aquellos casos en que la agresividad sea moderada, el empleo de estos cementos supondrá dar a la obra la necesaria garantía de durabilidad.