Contribución al análisis y estudio de las posibilidades de variación de la cantidad de yeso, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, como agresivo, del método acelerado de ensayo ASTM C 452 (1) y (2) Parte II A

RAFAEL TALERO MORALES, Dr. en Química Industrial
IETcc/CSIC
Serrano Galvache, s/n. 28033 MADRID/España

Fecha de recepción: 1-IX-88

RESUMEN

En esta parte del trabajo se exponen y discuten únicamente los resultados experimentales obtenidos, empleando un 21,0 % de SO_3 en la mezcla-conglomerante selenitosa cemento P-1 (14,11 % C_3A) o P-31 (7,62 % C_3A) o PUZ-8 más yeso, respectivamente. Tales resultados experimentales así obtenidos de los parámetros ΔL (%), $[\Delta L \text{ (g cemento)}]$ y $[\Delta L \text{ (g cemento)}/\text{día}] = \text{Velocidad de Crecimiento Longitudinal, Vcl, de las probetas, se exponen comparativamente con los correspondientes del 5,0 %, 7,0 %, 10,0 %, 12,0 % y 14,0 % de } \text{SO}_3 \text{ expuestos anteriormente (1).}$

SUMMARY

This part II A presents and discusses only the experimental results obtained employing 21,0 % SO_3 in the selenitouse conglomerant-mixture cement P-1 (14,11 % C_3A) or P-31 (7,62 % C_3A) or PUZ-8 which more gypsum, respectively.

These experimental results obtained thus with the parameters ΔL (%), $[\Delta L \text{ (g cement)}]$ and $[\Delta L \text{ (g cement)}/\text{day}] = \text{Longitudinal Increase Velocity, of the specimens, are presented comparatively with those corresponding to the 5,0 %, 7,0 %, 10,0 %, 12,0 % and 14,0 % } \text{SO}_3 \text{ as given before (1).}$

I. INTRODUCCION

En las publicaciones anteriores, correspondientes a las Partes IA(1) y IB(2) de este trabajo, se trató sobre:

- 1º) Los trabajos realizados con dos cementos portland, P-1 y P-31 y un puzolánico PUZ-8, a los cuales se les aumentó su contenido de SO_3 originario o de fábrica al 5,0 %; 7,0 %; 10,0 %; 12,0 %; y 14,0 % de SO_3 , respectivamente, mediante la adición de la cantidad adecuada de yeso $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ como agresivo, necesaria para ello. A tales mezclas de cemento portland P-1 ó P-31, o puzolánico PUZ-8 + yeso, se les denominó con el calificativo común de "mezclas-conglomerantes selenitosas", de las cuales se prepararon un total de 15 ($= 5 \times 3$).
- 2º) El análisis y estudio detallado de los valores de los parámetros absoluto ΔL (%) y relativo $[\Delta L \text{ (g cemento)}]$ obtenidos de las probetas correspondientes a aquéllas y preparadas con cada una de las mezclas-conglomerantes selenitosas citadas.

- 3º) Las conclusiones y deducciones correspondientes a ambas.

En esta parte del trabajo se tratará sobre:

- Los valores correspondientes al parámetro Velocidad de Crecimiento Longitudinal de las probetas $[Vcl = [\Delta L \text{ (g cemento)}]/\text{día}]$, el cual puede ser sinónimo, en gran medida y según las condiciones del medio, de la cantidad potencial de ettringita formada a cada edad del ensayo y, comparativamente, de su Velocidad de Formación o, simplemente, Velocidad de Reacción Expansiva, así como también de su análisis y estudio junto con las correspondientes a la mezcla conglomerante selenitosa con el 21,0 % de SO_3 , que se expone a continuación; y
- Los resultados experimentales obtenidos de la mezcla conglomerante selenitosa con el 21,0 % de SO_3 de cada uno de los cementos P-1; P-31; y PUZ-8 seleccionados para la realización de este trabajo, cuya realización dedujo y

aconsejó su ensayo adicional, causa por la cual ha surgido esta II parte del trabajo (3) a raíz del análisis y estudio de todos los resultados experimentales previos obtenidos y que figuran en la IB(2) del mismo.

II. OBJETIVOS

Los tres primeros objetivos del presente trabajo figuran en la parte IA del mismo (1). En esta parte IIA, y por razones obvias, únicamente figurará el 4.º objetivo. Así, por medio de éste, se tratará de determinar con cuál de los porcentajes de SO_3 que se han empleado, 5,0; 10,0; 12,0; 14,0; y 21,0 los cementos así ensayados (por este orden), muestran el máximo valor del parámetro Velocidad de Crecimiento Longitudinal de las probetas $[Vcl = [\Delta L (\%)]/\text{día}]$, citados anteriormente.

III. PARTE EXPERIMENTAL

Véase la parte experimental correspondiente a la parte IA (1) del presente trabajo, así como la correspondiente al 21,0 % de SO_3 que se expone seguidamente en ésta.

Fig. 1

IV. RESULTADOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS. DISCUSION E INTERPRETACION DE LOS MISMOS

Los resultados experimentales obtenidos se encuentran en las figuras 1 a la 9, inclusive.

DISCUSION

(A) Parámetro: $\Delta L (\%)$.

1º. A igualdad de cemento ensayado:

1. Caso del cemento portland P-1 (Fig. 1).

1.a Ver lo expuesto íntegramente en la Discusión (A) 1º.1.1.a de la parte IA (1) de este trabajo.

2.a Las clasificaciones que se obtienen de las distintas mezclas conglomerantes selenitosas del cemento portland P-1 a igual edad del ensayo, en función del $\Delta L (\%)$ de sus probetas respectivas de menor a mayor valor, por este orden, han sido las representadas en la Tabla 1.

3.a El valor de la relación agua/(cemento P-1 + yeso) o a/c, en cada caso, ha sido el resultado de la Tabla 2.

2. Caso del cemento portland P-31 (Fig. 2)

1.a Ver lo expuesto íntegramente en la Discusión (A) 1º.2.1.a de la parte IA (1) de este

Fig. 2

Por el contrario el apartado b) quedaría definitivamente de la siguiente manera: "La edad común de autodestrucción selenitosa de las probetas con 10,0 %; 12,0 %; y 14,0 % de SO_3 en su mezcla-conglomerante cemento P-31 + yeso, respectivamente, ha sido en este caso la de 270 días, mientras que la de las probetas con el 21,0 %

- 2.^a Las clasificaciones que se obtienen de las distintas mezclas-conglomerantes selenitosas del cemento portland P-31 a igual edad del ensayo, en función del valor del ΔL (%) de sus probetas respectivas de menor a mayor valor, por este orden, han sido las representadas en la Tabla 3.
- 3.^a El valor de la relación agua/(cemento P-31 + yeso) o a/c, en cada caso, puede verse en la Tabla 4.

TABLA 3

Edad (días)	Parámetro	Clasificación de las mezclas-conglomerantes selenitosas, cemento portland P-31 + yeso, con 5,0 %; 7,0 %; 10,0 %; 12,0 %; 14,0 %; y 21,0 % de SO ₃ , respectivamente, en función de los valores de Δ L (%) de sus respectivas probetas.										
7	$\Delta L_{xd.} < (\%)$	21,0%	<	5,0%	<	10,0%	<	14,0%	<	12,0%	<	7,0%
14		5,0%	<	10,0%	<	14,0%	<	12,0%	<	7,0%	<	21,0%
⋮		⋮		⋮		⋮		⋮		⋮		⋮
28		5,0%	<	10,0%	<	7,0%	=	14,0%	<	12,0%	<	21,0%
60		5,0%	<	7,0%	<	21,0%	<	10,0%	<	14,0%	<	12,0%
90		5,0%	<	21,0%	<	7,0%	<	10,0%	<	14,0%	<	12,0%
120		5,0%	<	7,0%	<	21,0%	<	10,0%	<	12,0%	<	14,0%
⋮		⋮		⋮		⋮		⋮		⋮		⋮
180		5,0%	<	7,0%	<	21,0%	<	12,0%	<	10,0%	<	14,0%
270		5,0%	<	7,0%	<	21,0%	<	10,0%	<	14,0%	<	12,0%
⋮		⋮		⋮		⋮		⋮		⋮		⋮
730		5,0%	<	7,0%	<	21,0%	<	10,0%	<	12,0%	<	14,0%
		inclasifi cable en tre sí.										
Contenido de SO ₃ (%) mezcla-conglomerante cemento P-31 + yeso		5,0% < 7,0% < 10,0% < 12,0% < 14,0% < 21,0%										

TABLA 4

	Contenido de SO ₃ (%) de la mezcla-conglomerante cemento portland P-31 + yeso					
	5,0%	7,0%	10,0%	12,0%	14,0%	21,0%
Relación a/c	0,528	0,510	0,528	0,536	0,528	0,60

3. Caso del cemento puzolánico PUZ-8 (Fig. 3)

1.^a Ver lo expuesto íntegramente en la Discusión (A) 1°3.1.^a de la parte IA (1) de este

trabajo, con la diferencia de que en este caso las probetas constituidas por el cemento PUZ-8 con el 21,0 % de SO₃ no llegaron a presentar estabilidad de volumen alguna durante una, dos o tres eda-

des finales del ensayo, y que, contrariamente, permanecieron creciendo en mayor o menor medida, por este orden, hasta finalizar el mismo.

- 2.^a Las clasificaciones que se obtienen de las distintas mezclas conglomerantes selenitosas del cemento puzolánico a igual edad del ensayo, en función del valor del ΔL (%) de sus probetas respectivas, de menor a mayor, por este orden, se puede ver en la Tabla 5.

Como se puede observar, tan sólo las clasificaciones correspondientes a las edades del ensayo de 545 y 730 días son totalmente coincidentes con la que se obtiene ordenando, sin más, tales contenidos de SO_3 de menor a mayor valor, por este orden.

- 3.^a El valor de la relación agua/(cemento PUZ-8 + yeso) o a/c, en cada caso, se puede apreciar en la Tabla 6.

Fig. 3

TABLA 5

Edad (días)	Parámetro	Clasificación de las mezclas-conglomerantes selenitosas, cemento puzolánico PUZ-8 + yeso, con 5,0 %; 7,0 %; 10,0 %; 12,0 %; 14,0 %; y 21,0 % de SO ₃ , respectivamente, en función de los valores de Δ L (%) de sus respectivas probetas.
7	$< \bar{\Delta L}_{xd} <$ (%)	5,0% < 21,0% < 10,0% < 14,0% < 7,0% = 21,0%
14		5,0% < 10,0% < 14,0% < 12,0% < 7,0% < 21,0%
21		5,0% < 10,0% < 7,0% < 21,0% < 14,0% < 12,0%
28		5,0% < 7,0% < 10,0% < 21,0% < 14,0% < 12,0%
60		5,0% < 7,0% < 21,0% < 10,0% < 14,0% < 12,0%
90		5,0% < 7,0% < 10,0% < 21,0% < 14,0% < 12,0%
⋮		⋮ ⋮ ⋮ ⋮ ⋮ ⋮
150		5,0% < 7,0% < 21,0% < 10,0% < 14,0% < 12,0%
180		5,0% < 7,0% < 21,0% < 10,0% < 12,0% < 14,0%
270		5,0% < 7,0% < 21,0% < 10,0% < 14,0% < 12,0%
365		5,0% < 7,0% < 10,0% < 21,0% < 12,0% < 14,0%
545		5,0% < 7,0% < 10,0% < 12,0% < 14,0% < 21,0%
730		5,0% < 7,0% < 10,0% < 12,0% < 14,0% < 21,0%
Contenido de SO ₃ (%) mezcla-conglomerante cemento PUZ-8 + yeso		5,0% < 7,0% < 10,0% < 12,0% < 14,0% < 21,0%

2°. A igual contenido de SO_3 (%) de la mezcla-conglomerante selenitosa de cemento "X" + yeso, se tiene:

1.a La clasificación que se obtendría de los cementos así ensayados y comparados a igual edad del ensayo, en función del valor correspondiente del parámetro ΔL (%) de sus probetas respectivas de menor a mayor valor, por este orden, ha sido el resultado de la Tabla 7.

A continuación ver prácticamente lo expuesto en la Discusión (A) 2°.1.a a) de la parte IA (1) de este trabajo.

(B) Parámetro: $[\Delta L \text{ (‰)}/\text{g. cemento}]$ (Figs. 4, 5 y 6)

1°. A igualdad de cemento ensayado:

Fig. 4

Dado que en este caso la evolución de los valores del parámetro relativo, a lo largo de todo el ensayo, ha sido semejante a la de los absolutos de ΔL (%) (compruébese si fuera necesario), no interesa en gran me-

Fig. 5

Fig. 6

TABLA 6

	Contenido de SO_3 (%) de la mezcla-conglomerante cemento puzolánico PUZ8 + yeso					
	5,0%	7,0%	10,0%	12,0%	14,0%	21,0%
Relación a/c	0,544	0,540	0,542	0,538	0,534	0,560

TABLA 7

Edad (días)	Parámetro	Clasificación de los cementos ensayados a igualdad de contenido de SO ₃ (%) de su mezcla conglomerante selenitosa y edad del ensayo respectivas, en función del valor del parámetro:					
		a) $\bar{\Delta}L$, de sus probetas respectivas, de menor a mayor valor.					
		5,0 %	7,0 %	10,0 %	12,0 %	14,0 %	21,0 %
7	$\Delta L_{xd} \text{ (%)}$	$P-1 < P-3I < PUZ-8$	$P-3I < PUZ-8 < P-1$	$P-3I < PUZ-8 < P-1$	$P-3I < P-1 < PUZ-8$	$P-3I < PUZ-8 < P-1$	$P-3I < P-1 < PUZ-8$
14					$P-1 < P-3I < PUZ-8$		
21							
28							
60							
90							
120							
150							
180							
270							
365							
545							
730							
b) $[\bar{\Delta}L \text{ (%) / g cemento}]$ de sus probetas respectivas de menor a mayor valor.							
7	$[\bar{\Delta}L \text{ (%) / g cemento}]$	$P-1 < P-3I < PUZ-8$	$P-3I < PUZ-8 < P-1$	$P-3I < PUZ-8 < P-1$	$P-3I < P-1 < PUZ-8$	$P-3I < PUZ-8 < P-1$	$P-3I < P-1 < PUZ-8$
14					$P-1 < P-3I < PUZ-8$		
21							
28							
60							
90							
120							
150							
180							
270							
545							
730							
c) $Vcl = [\bar{\Delta}L \text{ (%) / día}]$ de sus probetas respectivas de menor a mayor valor.							
7	$Vcl = [\bar{\Delta}L \text{ (%) / día}]$	$P-1 < P-3I < PUZ-8$	$P-3I < PUZ-8 < P-1$		$P-3I < P-1 < PUZ-8$		$P-3I < PUZ-8 < P-1$
14							$P-1 < P-3I < PUZ-8$
21							
28			$PUZ-8 < P-3I < P-1$		$P-3I < PUZ-8 < P-1$		$PUZ-8 < P-3I < P-1$
60							$P-3I < PUZ-8 < P-1$
90							
120		(*) = estudio comparativo despreciable	$P-1 < PUZ-8 < P-3I$		$PUZ-8 < P-3I < P-1$		
150			$PUZ-8 < P-1 < P-3I$		$P-1 (*)$		
180					$PUZ-8 < P-3I$		
270			(*) = estudio comparativo despreciable		$P-3I$ y $P-1 (*)$		
365					$PUZ-8$		
545					(*) = estudio comparativo despreciable		
730							

dida llevar a cabo la discusión correspondiente por razones de brevedad.

Por el contrario sí resulta de interés la comparación individualizada de los mismos para un solo cemento a igual edad del ensayo del mismo. Así se tiene que, según lo expuesto, las clasificaciones obtenidas a

igual edad del ensayo de las distintas mezclas-conglomerantes selenitosos del cemento P-1; P-31; y PUZ-8, respectivamente, en función del valor de este parámetro $[\Delta L (\%)/g. \text{ cemento}]$ de sus probetas correspondientes de menor a mayor valor, por este orden, han sido las representadas en la Tabla 8.

TABLA 8

Edad (días)	Parámetro	Clasificación de las mezclas-conglomerantes selenitosas, cemento P-1 ó P-31 ó PUZ-8 + yeso, con 5,0 %; 7,0 %; 10,0 %; 12,0 %; 14,0 %; y 21,0 % de SO ₃ , respectivamente, en función de los valores del parámetro expuesto:										
		CEMENTO P-1										
7		5,0%	<	21,0%	<	10,0%	<	7,0%	<	12,0%	<	14,0%
...		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
21		5,0%	<	21,0%	<	10,0%	<	12,0%	<	14,0%	<	7,0%
...		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
60		5,0%	<	21,0%	<	7,0%	<	10,0%	<	12,0%	<	14,0%
90		5,0%	<	7,0%	<	10,0%	<	12,0%	<	21,0%	<	14,0%
...		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
730		5,0%	<	7,0%	<	(*)	<	(*)	<	(*)	<	(*)
		CEMENTO P-31										
7		[ΔL(%) / g.cemento x 10 ⁻⁴] <	5,0%	<	10,0%	<	7,0%	<	21,0%	<	12,0%	<
14	5,0%		<	7,0%	<	10,0%	<	12,0%	<	14,0%	<	21,0%
21	5,0%		<	10,0%	<	7,0%	<	12,0%	<	14,0%	<	21,0%
28	5,0%		<	7,0%	<	10,0%	<	12,0%	<	14,0%	<	21,0%
...	...		...	...	...	...	...	...	...	...	...	
90	5,0%		<	7,0%	<	10,0%	<	21,0%	<	14,0%	<	12,0%
120	5,0%		<	7,0%	<	21,0%	<	10,0%	<	12,0%	<	14,0%
...	...		...	...	...	...	...	...	...	...	...	
365	5,0%		<	7,0%	<	21,0%		(*)		(*)		(*)
...	...		...	...	...	...	...	...	...	...	...	
730	5,0%	<	7,0%		(*)		(*)		(*)		(*)	
	CEMENTO PUZ-8											
7		5,0%	<	7,0%	<	10,0%	<	12,0%	<	14,0%	<	21,0%
...		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
730		5,0%	<	7,0%	<	10,0%	<	12,0%	<	14,0%	<	21,0%
Contenido de SO ₃ (%) mezcla-conglomerante cemento + yeso		5,0%	<	7,0%	<	10,0%	<	12,0%	<	14,0%	<	21,0%
(*).- Probetas Rotas: Imposible la realización de su estudio comparativo												

2°. A igual contenido de SO_3 de la mezcla conglomerante cemento "X" + yeso, y a igual edad del ensayo, se cumple íntegramente lo expuesto con anterioridad para el caso del parámetro ΔL (%) en la Discusión (A) 2°.

(C) Parámetro: $Vcl = [\Delta L \text{ (‰)}/\text{día}]$ (Figs. 7, 8 y 9)

1°. A igualdad de cemento ensayado:

1.a La evolución de los valores del parámetro Vcl de las probetas respectivas a lo largo de todo el ensayo, ha sido desde el origen:

1. Caso del cemento portland P-1 (Fig. 7)

a) Con el 5,0 % de SO_3 . Presenta disminución rápida hasta alcanzar el valor nulo a los 14 días del ensayo, seguida de un ascenso y posterior descenso continuado de dicha disminución hasta su práctica nulidad definitiva a los 60 días, la cual ha continuado manteniéndose hasta la edad final del ensayo.

b) Con el 7,0 %; 10,0 %; 12,0 %; 14,0 %; y 21,0 % de SO_3 . Hay disminución más o menos apreciable hasta los 14 días, seguida de un ascenso muy notable cuyo máximo valor absoluto se ha alcanzado: a los 28 días (el mayor de todos los que se comparan) para el caso del contenido de SO_3 del 7,0 %; a los 60 días para el caso de los contenidos de SO_3 de 10,0 % (el segundo mayor valor absoluto); 12,0 %; y 14,0 % (los valores de ambos muy similares), respectivamente; y a los 90 días, o posterior quizás, para el caso del contenido de SO_3 del 21,0 %.

Fig. 7

Seguidamente disminuyen con notable rapidez todos ellos hasta alcanzar su nulidad definitiva, tanto más pronto cuanto menor ha sido dicho contenido de SO_3 y viceversa, la cual se mantiene hasta finalizar el ensayo.

No obstante destacan los máximos valores absolutos y relativos de dicho parámetro Vcl , alcanzándose los siguientes:

- en el caso del 5,0 % y 7,0 % de SO_3 , durante los primeros 28 días de sus probetas respectivas;
- en el caso del 10,0 %; 12,0 %; y 14,0 % de SO_3 , durante los primeros 90 ó 120 días de las probetas; y
- en el caso del 21,0 % de SO_3 , no se pueden precisar debido a la rotura de sus probetas a los 90 días de las mismas.

2. Caso del cemento portland P-31 (Fig. 8)

a) Con el 5,0 % de SO_3 . Remitirse a todo lo expuesto en el caso del cemento portland P-1, aunque el valor absoluto de la pendiente negativa del P-31 es superior.

b) Con el 7,0 % de SO_3 . Remitirse a todo lo expuesto en el caso anterior a) sobre este cemento con el 5,0 % de SO_3 , incluyendo las siguientes diferencias:

- a igual edad, el 7,0 % de SO_3 ha mostrado siempre mayores valores absolutos; y
- el valor nulo se alcanza con el 7,0 % de SO_3 después de 90 días (a los 150 días), que el alcanzado en el caso del 5,0 % de SO_3 (a los 60 días).

c) Con el 10,0 %; 12,0 %; y 14,0 % de SO_3 . Presenta disminución apreciable tras un máximo valor inicial de parecido orden de magnitud que el correspondiente al 21,0 % de SO_3 a los 14 días, hasta la edad de los 21 días, para seguidamente ir aumentando sinuosamente hasta alcanzar el valor máximo respectivo (siendo los tres bastante similares entre sí) a la edad común de 150 días, tras el cual disminuyen notablemente a la par los tres, no pudiéndose precisar si es para volver a ascender, o continuar disminuyendo hasta alcanzar más pronto o más tarde la nulidad de todos ellos.

- d) Con el 21,0 % de SO_3 . Da un aumento apreciable hasta la edad de 14 días, seguido de una disminución notable y lenta hasta alcanzar un mínimo valor a los 90 días, tras el cual vuelve a ascender hasta la edad de 545 días, en cuya fecha se fracturan sus probetas correspondientes, no pudiéndose precisar lo expuesto en el caso c) por idéntica situación.

Se deben destacar los máximos valores absolutos y relativos de dicho parámetro Vcl, los cuales se alcanzan durante los primeros 28 días en el caso del 5,0 %, mientras que en los casos restantes no se puede decir otro tanto. Aproximadamente cabría decir que:

- en el caso del 10,0 %; 12,0 %; y 14,0 % de SO_3 , los valores relativos del Vcl de las cuatro edades finales de sus respectivas probetas, hasta su rotura a la edad común de 180 días, son mayores que los correspondientes a las de las cuatro edades iniciales de las mismas, y
- en el caso del 21,0 %, sería todo lo contrario.

Fig. 8

3. Caso del cemento puzolánico PUZ-8 (Fig. 9)

- a) Con el 5,0 % de SO_3 . El lector se debe remitir a todo lo expuesto con relación al cemento portland P-1, aunque la pendiente negativa es superior a la del P-31 y P-1, por este orden, de mayor a menor valor.
- b) Con el 7,0 %; 12,0 %; y 14,0 % de SO_3 . En gran medida ocurre lo mismo que en el caso anterior a) de este cemento con el 5,0 % de SO_3 , incluyendo las siguientes diferencias:
- a igual edad de 7 a 14 días no existe proporcionalidad directa entre los contenidos de SO_3 y sus valores de Vcl respectivos;
 - de 21 a 60 días continúa sin existir la proporcionalidad directa anterior en el caso de los porcentajes 10,0; 12,0; y

14,0 de SO_3 , aunque sí, y con toda claridad, en el caso del porcentaje del 7,0 de SO_3 respecto a ellos, el cual a los 60 días acaba por alcanzar su nulidad definitiva, manteniéndose de esta forma hasta el final del ensayo; este mismo hecho se produce más lentamente con el resto de los contenidos de SO_3 , de tal forma que los mismos alcanzan su nulidad respectiva a la edad común de 545 días, manteniéndose de este modo hasta terminar el ensayo.

- c) Con el 21,0 % de SO_3 . En este caso también ocurre todo lo expuesto en el b), sólo que aquí se alcanza con el 21,0 % de SO_3 y a la edad de 14 días el máximo valor absoluto de todos los casos comparados, seguido del mínimo valor correspondiente en todos los casos de contenido de SO_3 mayor del 7,0 %, tras el cual pasa a confundirse con los valores del resto de los contenidos anteriores, del 10,0 % en adelante, hasta la edad común de 365 días. A partir de esta edad, y a diferencia con los mismos, continúa como provenía hasta la edad de 545 días, para una vez alcanzada esta edad comenzar a tener una semejanza con aquellos contenidos, en la búsqueda del valor mínimo, preconizador del nulo y común de *todos ellos*, cuya edad de consecución puede decirse que se ha alcanzado tanto más pronto cuanto menor ha sido su contenido de SO_3 respectivo y viceversa.

No obstante, lo realmente destacable es que los máximos valores absolutos y relativos de dicho parámetro Vcl se alcanzan en todos los casos a los 28 días de edad de las probetas, y tanto más claramente cuanto menor ha sido el contenido de SO_3 del cemento.

- 2°. Las clasificaciones que se obtienen de las distintas mezclas-conglomerantes selenitosas —a igualdad de cemento y edad del ensayo—, en función de los valores de Vcl de sus respectivas probetas han sido las siguientes (ver Tabla 9):

- a) En el caso del cemento portland P-1 las clasificaciones se pueden obtener fácilmente (Fig. 7) y en ellas se podrá observar, no obstante, cómo la correspondiente a la del 7,0 % de SO_3 es la que manifiesta los máximos valores de Vcl a los 28 días (edad fundamental del ensayo desde el punto de vista tecnológico) en las probetas de estas clasificaciones, mientras que las del 21,0 % de SO_3 muestran los mínimos valores, quedando los restantes, menos los del 5,0 % de SO_3 , intermedias entre ambos (en estas páginas no se da una interpretación comparativa por las razones expuestas en

la parte IB (2) de este trabajo). Esta situación, en el transcurso del ensayo, es rotativa según van finalizando las reacciones de formación de ettringita en aquella que ocupó el primer lugar o valor máximo de todas, de tal manera que a los 90 días del ensayo la mayoría, en tales valores, corresponde a la del 21,0 %, y la minoría de éstos, o valor nulo, a los del resto.

- b) En el caso del cemento portland P-31 las clasificaciones también se pueden obtener con toda facilidad (Fig. 8), en las cuales se podrá observar cómo el valor correspondiente a la del 7,0 % de SO_3 a los 7 días es también el mayor valor de todos, aunque en este caso, y a diferencia del correspondiente al P-1, muy próximo a los del 12,0 %; 14,0 %; y 10,0 % de SO_3 .

Esta clasificación se mantiene prácticamente entre esos cuatro contenidos de SO_3 hasta antes de la edad de 28 días, pues el del 5,0 % no se tiene en cuenta por las razones expuestas anteriormente, alternándose en este caso con el del 21,0 % de SO_3 hasta los 120 días, a partir de los cuales el del 7,0 % de SO_3 se minimiza hasta anularse, mientras que al del 21,0 % le sucede todo lo contrario, o sea, lo mismo que a los del 10,0 %; 12,0 %; y 14,0 % cuando se separaron de éste.

- c) En el caso del cemento puzolánico PUZ-8 también se pueden obtener fácilmente las clasificaciones (Fig. 9), pudiéndose observar en ellas cómo en este caso el valor correspondiente a la del 7,0 % de SO_3 a los 7 días es el máximo de todos; pero no obstante es prácticamente coincidente con el del 21,0 % de SO_3 , y ambos seguidos muy de cerca por el del 14,0 %; 10,0 %; y 21,0 % de SO_3 , pues el del 5,0 % de SO_3 , no cuenta en este estudio comparativo con ninguna de las edades del ensayo por las razones expuestas en a).

Dicha clasificación sufre apreciables variaciones a las edades siguientes del ensayo, destacando de estas edades las de 14 y 21 días, en las cuales las posiciones máximas y mínimas, respectivamente, las ocupa la del 21,0 % de SO_3 para, a continuación y a edades posteriores, la del 7,0 % del SO_3 separarse de todas ellas con objeto de:

- ir en búsqueda de la nulidad de su valor, que es como continúa prácticamente hasta finalizar el ensayo;
- mientras que las restantes prosiguen de igual manera alternando sus posiciones entre sí hasta la edad de 270 días, a

partir de la cual operan como la del 5,0 % a los 14 días, y la del 7,0 % de SO_3 a los 60 días, es decir, ir en busca de la nulidad de su valor, el cual se alcanza con más prontitud cuanto menor es dicho contenido de SO_3 y viceversa.

- 3°. Las clasificaciones que se obtienen a igual edad y contenido de SO_3 de la mezcla-conglomerante, figuran al final de la Tabla 7.

Fig. 9

- (D) Comparación del GRADO DE RESPUESTA de cada parámetro

El lector debe remitirse a todo lo expuesto en el apartado (C), parte IA de este trabajo (2), habiéndose obtenido en este caso los resultados que se expresan en la Tabla 9 de esta parte del trabajo.

Pues bien, según lo expuesto en dicha Tabla 9:

- a) El parámetro ΔL (%) se ve favorecido a edades iniciales: en mayor medida por el contenido de SO_3 del 7,0 % en el caso del cemento portland P-1, que ha sido el que peor comportamiento ha tenido de todos los ensayados ante el ataque de los iones sulfato; en desigual y mayor medida por los contenidos de SO_3 del 7,0 % y 21,0 %, con prioridad de este último en el caso del cemento portland P-31 que, aunque no ha tenido tan mal comportamiento como el P-1 ante el mencionado ataque agresivo, éste no puede ser calificado de excelente; y también en mayor y desigual medida por los contenidos de SO_3 del 7,0 % y 12,0 %, con prioridad de este último en el caso del cemento puzolánico PUZ-8, el cual ha sido de todos los cementos ensayados el que mejor comportamiento ha tenido ante el mencionado ataque agresivo, y que tampoco puede ser calificado de excelente debido a que sus probetas se autodestruyen a consecuencia de dicho ataque a los 4 años (Foto 3).

b) El parámetro $[\Delta L (\%)/g. \text{ cemento}]$ se ve favorecido a edades iniciales: en mayor y desigual medida por los contenidos de SO_3 del 7,0 % y 14,0 %, con primacía de este último en el caso del cemento portland P-31, y en mayor grado por el contenido de SO_3 del 21,0 % en el caso del cemento puzolánico PUZ-8, y

c) El parámetro $[\Delta L (\%)/día]$ se ve favorecido

a edades iniciales: en mayor grado por el contenido de SO_3 del 7,0 % en el caso del cemento portland P-1; y en desigual y mayor medida por los contenidos de SO_3 del 7,0 % y 21,0 %, con superioridad de este último en el caso del cemento portland P-31; y también en mayor y desigual medida por los contenidos de SO_3 del 7,0 %, 12,0 % y 21,0 %, con superioridad del segundo sobre el resto en el caso del cemento puzolánico PUZ-8.

V. BIBLIOGRAFIA

- (1) R. TALERO: "Contribución al análisis y estudio de las posibilidades de modificación de la cantidad de yeso, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, como agresivo, del método acelerado de ensayo ASTM C 452". Parte IA.
- (2) R. TALERO: "Contribución al análisis y estudio de las posibilidades de modificación de la cantidad de yeso, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, como agresivo, del método acelerado de ensayo ASTM C 452". Parte IB.
- (3) R. TALERO: "Contribución al Estudio Analítico y Físico-Químico del Sistema: Cementos Pozolánicos-Yeso-Agua". Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Químicas, 1986.

(Continuará)

RECONOCIMIENTO

Deseo agradecer a mis compañeros del E. I. Durabilidad, D. Felipe Cantero Palacios y D. Manuel Cantero Palacios, la colaboración prestada en la realización de este trabajo. Asimismo a Dña. M.ª Isabel Jiménez García y a Dña. Raquel Canellada Llavona el mecanografiado de la misma y a D. Juan José López del Amor y D. José Díaz Salado las fotografías realizadas.

* * *

publicación del IETcc/CSIC

Equipo de Ahorro de Energía en el edificio

Dirección y coordinación:
Arturo García Arroyo

M.ª José Escorihuela
José Luis Esteban
José Miguel Frutos
Manuel Olaya
Bernardo Torroja

selectividad en la aplicación de los sistemas y procedimientos pasivos dando origen a un ecumenismo arquitectónico solar, al margen de las condiciones climáticas y funcionales específicas de cada caso y lugar.

En este libro, utilizando criterios y metodología pedagógicos, se dan los fundamentos e instrumentos teórico-prácticos necesarios para el planteamiento de todo proyecto arquitectónico solar pasivo, de acuerdo con los principios éticos y económicos de conservación y ahorro de energía. Es decir: respeto de los presupuestos bioclimáticos, búsqueda de la máxima captación y acumulación de la radiación solar, y esmero en el aislamiento térmico de los cerramientos.

Un volumen encuadernado en cartulina ibiza plastificada, a cinco colores, de 16 x 23 cm, compuesto de 216 páginas, 217 figuras, 87 gráficos, 19 tablas y 10 cuadros.

Madrid, 1983. Precios: España 2.100 ptas.; 30 \$ USA.

Las dificultades de suministro y el alto coste de los productos energéticos convencionales han despertado la atención de los usuarios, técnicos e industriales de la edificación hacia los procedimientos y sistemas en que se basa el aprovechamiento de otras fuentes alternativas de energía, principalmente la solar. Esto ha generado un rápido desarrollo industrial y comercial que, en opinión de los autores de este libro, arrastran los siguientes defectos: un mimético tecnologismo respecto de los sistemas convencionales que violenta las peculiaridades de la energía solar (baja densidad y variabilidad en el tiempo), y una escasa