

# Acción de los iones $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{Cl}^-$ ; y $\text{Na}^+$ , contenidos en el agua de amasado, sobre las resistencias mecánicas de los morteros normales de ensayo

PABLO GARCIA DE PAREDES Y GAIBROIS, Ldo. en Ciencias  
IETCC

Las numerosas consultas de constructores que, para amasar sus hormigones, no disponían de agua exenta de impurezas, movieron nuestra curiosidad a ensayar, en la División de Durabilidad del Departamento de Química en el IETCC, la influencia que algunas sales disueltas en el agua de amasado ejercen sobre las propiedades del hormigón.

Publicamos ahora los resultados obtenidos hace más de 12 años en una “incursión” en ese campo, y lo hacemos para invitar a los investigadores a completar esos conocimientos.

¿Qué fiabilidad tienen nuestros resultados? A favor de ello puede tenerse en cuenta su número; se obtuvieron más de cinco mil valores, que la División de Cálculo del IETCC sometió a un estudio estadístico y nos proporcionó el valor medio de cada lote, la desviación específica, la desviación media, el coeficiente de variación y los márgenes de probabilidad. Pero contra la calidad de las posibles conclusiones existe el poco número de cementos ensayados, las limitadas concentraciones de sales, su número, el operar sólo con morteros y el corto plazo de observación.

Ojalá sirvan, por lo menos, para que más calificados investigadores amplíen estos ensayos, los realicen con hormigones en masa y armados (muy poco se encuentra sobre corrosión de armaduras por aguas de amasado impuras) y utilicen los cementos y las aguas más típicas de España.

Entre la numerosa literatura que el tema del agua empleada para amasar el hormigón ha motivado, ocupa un destacado lugar el artículo original de Harold H. Steinour en el “Journal of the P.C.A. research and development laboratories”, en septiembre de 1960, con el sugestivo título de “Cuán impura puede ser el agua para amasar el hormigón”. En él se recogen las investigaciones efectuadas y publicadas sobre todas las posibles impurezas.

Según Steinour, cuando en un agua natural las cantidades de sólidos disueltos son altas, generalmente se deben a contenidos crecidos de sulfato y de cloruro sódicos, lo que ocurre principalmente en los climas áridos. Abrams (Proc. A.C.I. 20 442/46 1924) ensayó concentraciones, progresivamente altas, de sulfato y de cloruro, y de los resultados dedujo que se podían considerar tolerables, pues las variaciones que motivaban en las resistencias no sobrepasaban del límite de 15 % que él admitía como no perjudicial. La concentración del 2 % de NaCl no rebasa ese límite, en tanto que la del 5 % lo superaba califi-

cando al agua de no utilizable. Estas experiencias se realizaron en hormigón no armado, pues no son tolerables tales concentraciones para amasar el hormigón armado y están totalmente prohibidas para el pretensado.

Cieschke, Thomas y Parkinson (Bull. 2730 Engineering research series n.º 23 University of Texas VIII 1927) al ensayar disoluciones de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  y  $\text{NaCl}$  en morteros, encontraron que la concentración del 0,5 % de ambas sales producían resistencias, entre 28 días y 3 años, con variaciones menores del 10 % con relación a los morteros “testigos” amasados con agua sin sales.

Proudley (Publics Roads N.º 3 25/27 V 1924) preparó una mezcla de sales con la composición:

$\text{Na}_2\text{SO}_4 = 80 \%$ .  $\text{MgCl}_2 = 11,2 \%$ .  $\text{MgSC}_4\text{O} = 3,5 \%$ .  $\text{CaCl}_2 = 4,5 \%$

y la utilizó, a diferentes cantidades, para amasar mortero 1:3. Empleada al 1,5 % produjo resistencias a flexotracción iguales a las alcanzadas por los testigos y al 5 % incluso mayores.

El ion sodio en cantidad de 1.000 p.p.m. con una relación agua/cemento igual a 0,6 corresponde al 0,06 % ponderal respecto al cemento, o expresado como  $\text{NaO}_2$  es el 0,08 %; si el árido no es alcalirreactivo, el agua puede utilizarse.

El ion sulfato  $\text{SO}_4^{2-}$  en cantidad de 1.000 p.p.m., lo que corresponde en las condiciones antes mencionadas al 0,05 % respecto al cemento, no impide la utilización de un agua pues la casi totalidad de los cementos están lejos de contener el óptimo de yeso. Pero no es conveniente alejarse de este límite, pues cantidad bastante mayor ocasiona riesgos debidos a la formación de compuestos expansivos.

En resumen, según Steinour, en el estado actual de conocimientos es una buena práctica realizar ensayos previos, siempre que el agua, además de carecer de antecedentes contenga cantidades considerables de sólidos disueltos. Como tal se puede considerar más de 2.000 p.p.m. de los iones que suelen estar presentes en las aguas naturales;  $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{Na}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{CO}_3^{2-}$ .

Las aguas con menos de 2.000 p.p.m. de esos iones, siempre que no contengan un predominio de carbonatos y bicarbonatos alcalinos (menos de 1.000 p.p.m.), pueden utilizarse.

Los ensayos previos de fraguado y resistencias son especialmente recomendados cuando además aparezcan impurezas tales como azúcares, otras materias orgánicas, sulfuros, iodatos, fosfatos, arsenitos, boratos y compuestos de:  $\text{Pb}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Co}$ ,  $\text{Sn}$  y  $\text{Mn}$ .

I. Biczok en su obra “Corrosión y protección del hormigón”, de tan excepcional importancia, indica que en general se pueden utilizar para el amasado del hormigón las aguas no excesivamente mineralizadas, incluso el agua de mar. En Heligoland se hizo uso en cantidades considerables del agua de mar sin que se apreciaran perjuicios: ya la Norma alemana 4 030 no la incluye como agresiva. Grün y Tyler mencionan que se realizaron ensayos comparativos con agua de mar y agua no salina sin observar deficiencias; incluso se pueden utilizar aguas que en un contacto continuo destruyen al hormigón. Se debe tener presente que el agua de mar no debe emplearse para amasar hormigones de cemento aluminoso.

El ácido clorhídrico, en cantidad del 2 a 3 % con relación al cemento, adicionado al agua de amasado acelera el fraguado y el endurecimiento; a pesar que a esa concentración el ácido es positivamente dañino para el hormigón.

El cloro añadido como desinfectante al agua no es perjudicial para el agua de amasado (Grün 1953).

Los tipos de agua que normalmente se consideran no calificados para el amasado son:

- Aguas con contenido total de sales superior al 3,5 %.
- Aguas que contienen sulfatos en cantidad mayor del 0,5 %.
- Aguas ácidas con un valor del pH menor de 4,0.
- Aguas que contienen más del 3 % de sodio expresado como  $\text{NaO}_2$ .
- Aguas minerales.
- Aguas industriales: fábricas de productos químicos; tenerías; talleres de galvanizado; fábricas de celulosa.
- Aguas que contienen azúcares o molasas.
- Aguas impurificadas por aceites y grasas.
- Aguas cargadas de humus.
- Desagües de lavaderos de carbón, minas y escombreras.
- Aguas con alta concentración de organismos: algas en suspensión.

El Dr. A. López Ruiz comunicó que la sacarosa añadida al agua de amasado del hormigón de cemento portland, en proporciones comprendidas entre 0,06 % y 0,25 % del peso del conglomerante, se ha comportado como un agente plastificante-retardador muy activo.

En las condiciones anteriores aunque para concentraciones superiores al 0,09 %, la sacarosa retrasó el fraguado más de 3 días y disminuyó la resistencia a la compresión a los 7 días respecto a la del hormigón sin adición, la resistencia fue siempre elevada a los 28 días.

El notable aumento de la resistencia obtenido a los 28 días por la adición de sacarosa, aún sin reducción del agua de amasado, para adiciones del 0,06 al 0,25 % y a los 7 días para concentraciones inferiores al 0,09 %, hay que atribuirlo en principio a la mejor dispersión y mezcla del cemento en el hormigón.

El efecto retardador de la sacarosa fue menor en un hormigón puzolánico que en los de cemento portland, si bien se conservaron las propiedades plastificantes y dispersantes.

El clorato potásico, añadido con la sacarosa al agua de amasado de cuatro hormigones de cemento portland y uno puzolánico, en la proporción de 0,09 % de sacarosa y 0,04 % de clorato, ha resultado bastante eficaz para disminuir el fuerte poder retardador de la sacarosa sin alterar sus propiedades plastificantes y dispersantes.

(Química e Industria V. 10 N.º 5 154/58 1963 IX-X).

## **PLAN DE NUESTRA EXPERIMENTACION**

### **Aguas para el amasado**

Entre la gran variedad de aguas se escogieron las que contuviesen los iones  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{Cl}^-$  para, en cierto modo, seguir la línea indicada por otros investigadores. En cuanto a las concentraciones pareció más interesante la pauta marcada por la Instrucción EH-75 considerando como impuras las aguas que contuviesen sulfatos y cloruros en cantidad superior a los límites señalados por la referida instrucción.

Los límites en la instrucción son:

$$\text{SO}_4^{2-} = 1,0000 \text{ g/l} \quad \text{Cl}^- = 6,0000 \text{ g/l}$$

Se prepararon cuatro concentraciones que contenían aproximadamente el doble, triple, cuádruple y quíntuple cantidad de los iones referidos, disolviendo en agua desionizada sulfato y cloruro sódicos en las cantidades siguientes:

	Doble	Triple	Cuádruple	Quíntuple
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> =	2,085	3,128	4,170	5,213 g/l
Cl <sup>-</sup> =	12,132	18,198	24,264	30,320 g/l
Na <sup>-</sup> =	8,848	13,192	17,696	22,050 g/l

### Cementos empleados

P-450		P-350	
Pérdida por calcinación .....	1,71	Pérdida por calcinación .....	2,75
Residuo insoluble .....	2,78	Residuo insoluble .....	1,59
SiO <sub>2</sub> .....	20,06	SiO <sub>2</sub> .....	20,20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	6,14	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	6,47
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	1,75	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	1,77
CaO .....	63,56	CaO .....	61,76
MgO .....	2,03	MgO .....	1,87
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> .....	3,52	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> .....	4,62
P-350 Y (1)		P-350 Y (2)	
Pérdida por calcinación .....	2,8	Pérdida por calcinación .....	3,01
Residuo insoluble .....	0,2	Residuo insoluble .....	0,64
SiO <sub>2</sub> .....	20,3	SiO <sub>2</sub> .....	21,96
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	3,6	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	3,94
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	6,0	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	5,84
CaO .....	64,7	CaO .....	59,98
MgO .....	0,7	MgO .....	1,52
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> .....	1,8	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> .....	2,20
P-350 Y (3)		P Y PUZ-250	
Pérdida por calcinación .....	1,08	Pérdida por calcinación .....	3,24
Residuo insoluble .....	0,41	Residuo insoluble .....	7,50
SiO <sub>2</sub> .....	19,88	SiO <sub>2</sub> .....	22,50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	4,53	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	5,22
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	6,51	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	7,11
CaO .....	65,64	CaO .....	49,20
MgO .....	0,84	MgO .....	2,31
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> .....	3,00	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> .....	2,52
PUZ I-350		S III-250	
Pérdida por calcinación .....	2,92	Pérdida por calcinación .....	2,24
Residuo insoluble .....	7,82	Residuo insoluble .....	0,19
SiO <sub>2</sub> .....	28,92	SiO <sub>2</sub> .....	25,68
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	8,70	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	6,01
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	5,12	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	1,68
CaO .....	46,48	CaO .....	55,64
MgO .....	3,57	MgO .....	2,95
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> .....	4,13	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> .....	1,85
		S .....	1,95
A-450			
Pérdida por calcinación .....		0,18	
Residuo insoluble .....		1,13	
SiO <sub>2</sub> .....		5,28	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....		41,36	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....		15,30	
CaO .....		37,54	
MgO .....		0,73	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> .....		0,05	

### Morteros

Para la preparación de los morteros que se someterían a ensayo fueron escogidos los prismas de 4 × 4 × 16 cm, que se describen en el RC-75. Como arena, la normalizada en dicha norma en relación 1:3 en peso de cemento. La relación agua/cemento igual a 0,5.

De cada cemento se prepararon para cada edad 6 prismas; en total 180 prismas por cemento amasados cada 36 con cada una de las cuatro "aguas" y con agua desionizada: los "testigos".

El número total de prismas fue de 1.620.

Se conservaron los prismas en sus moldes durante 24 horas en una cámara hermética con humedad relativa del 60 % y a la temperatura de  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ .

Terminado el plazo de curado, fueron extraídos los prismas de los moldes y colocados, reunidos los de cada edad de rotura, en cajas de plástico. Estas cajas estaban provistas en sus tapas (que cerraban a presión) de una abertura para poder extraer el aire. Los prismas reposaban sobre una plataforma de plástico con orificios, situada a 5 cm del fondo, y bajo la plataforma se vertía agua en cantidad suficiente para que alcanzase 2 cm de altura. Una vez colocados los prismas se cerraba la caja y, por la abertura de la tapa, se extrajo el aire; tapada la abertura, la caja quedaba convertida en una cámara húmeda. Las cajas fueron colocadas en un local cuya temperatura se mantuvo a  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  durante todo el tiempo que duró la experimentación.

## **MEDIDA DE LAS RESISTENCIAS MECANICAS**

Las resistencias mecánicas se proyectó medirlas a los siguientes plazos:

7 30 60 90 180 360 días

contados a partir de la fecha de amasado de los prismas.

Al finalizar cada plazo de observación fueron extraídos los prismas de las cajas y mantenidos durante 3 horas en contacto con aire, seco y descarbonatado, a la temperatura de  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  en el local donde estaban las prensas. Seguidamente se rompieron los prismas a flexotracción con carga central; los dos trozos obtenidos en la rotura fueron utilizados para, después de alisar suavemente la superficie lateral, obtener el valor de la resistencia a compresión.

Los valores así obtenidos se remitían a la División de Cálculo y con los datos por él enviados se componían los respectivos cuadros de valores que después fueron sometidos a examen y valoración.

## **ESTUDIO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS**

Para valorar los resultados cualitativa y cuantitativamente, se aplicaron tres criterios:

En primer lugar el signo que los valores relativos revelan, indicando cuándo la presencia de los iones incrementa las resistencias o las disminuyen.

En segundo lugar examinando la magnitud de la diferencia entre los valores alcanzados por los "testigos" y los obtenidos con los prismas amasados con las aguas salinas. Esta diferencia está expresada por la magnitud del valor relativo. Teniendo presente que en la práctica rutinaria de los ensayos mecánicos se descartan aquellos prismas cuyas resistencias difieren en más de 15 % del valor medio calculado con la totalidad de los prismas rotos, si la diferencia entre la media aritmética de los valores alcanzados por los prismas amasados con agua salina es menor del 15 % de la media de los testigos, se puede considerar, en el orden práctico, que la influencia de los iones no sobrepasa de los errores propios del método y sólo se valorará esta diferencia como una señal de alerta, especialmente si su signo se confirma en los ensayos a mayores plazos y concentración. Concuera este criterio con el adoptado por Abrams indicado anteriormente.

En tercer lugar se tuvieron en cuenta la magnitud de los márgenes “ $s_m t$ ” calculados estadísticamente ya que indican la homogeneidad o heterogeneidad física existente entre cada lote de prismas, lo que parece traslucir una mayor o menor alteración producida por la presencia de los iones.

TABLA 1

Resistencias mecánicas del P-450 (en  $\text{kp/cm}^2$ )

### FLEXOTRACCION

Agua	Días											
	7		30		60		90		180		360	
	$x \pm s_m t$	%										
Doble	83 ± 1,4	108	78 ± 2,1	97	103 ± 1,7	107	83 ± 1,7	95	85 ± 6,5	98	69 ± 6,4	91
Triple	80 ± 2,3	104	79,4 ± 6,4	99	93 ± 4,8	97	101 ± 6,1	116	91 ± 6,1	102	73,5 ± 3,6	97
Cuádruple	83 ± 5,1	108	85,4 ± 6,4	104	82,3 ± 4	88	81 ± 5,3	89	81 ± 9,7	91	90,5 ± 4,9	120
Quíntuple	82 ± 4,5	110	100 ± 8,1	122	85,3 ± 3	91	67,4 ± 5,6	77	79 ± 10,6	92	91 ± 10,1	121

### COMPRESION

Agua	Días											
	7		30		60		90		180		360	
	$x \pm s_m t$	%										
Doble	463 ± 8	102	508 ± 9	103	549 ± 15,6	101	562 ± 10,4	102	586 ± 10	106	611 ± 9	110
Triple	459 ± 17	101	520 ± 8	106	531 ± 9	99	553 ± 7	101	604 ± 20	109	617 ± 14	117
Cuádruple	460 ± 10	102	501 ± 9	103	556 ± 7	102	578 ± 7	104	595 ± 8	107	651 ± 17	117
Quíntuple	439 ± 3	96	540 ± 9	104	538 ± 14	98	554 ± 5	101	585 ± 12	106	624 ± 18	112

$x$  = valor medio de 12 prismas

$\pm s_m t$  = márgenes con 95 % de probabilidad.

% = valor relativo considerando 100 el alcanzado por los testigos sin sales.

### SIGNO DE LOS VALORES RELATIVOS

#### Flexión

Agua “doble”: aumenta las resistencias a las edades de 7 y 60 días y las reduce a las edades de 30, 90, 180 y 360 días. Los aumentos representan el 33 % y las reducciones el 66 %.

Agua “triple”: aumenta las resistencias a las edades de 7, 90 y 180 días y las reduce a las edades de 30, 60 y 360 días. Los aumentos representan el 50 % y las reducciones el 50 %.

Agua “cuádruple”: aumenta las resistencias a las edades de 7, 30 y 360 días y las reduce a 60, 90 y 180 días. Los aumentos representan el 50 % y las reducciones el 50 %.

Agua “quíntuple”: aumenta las resistencias a las edades de 7, 30 y 360 días y las reduce a las edades de 60, 90 y 180 días. Los aumentos representan el 50 % y las reducciones el 50 %.

#### Compresión

Agua “doble”: aumenta las resistencias a todas las edades.

Agua “triple”: aumenta las resistencias a las edades de 7, 30, 90, 180, 360 días y las reduce a 60 días. Los aumentos representan el 83 %, las reducciones el 17 %.

Agua “cuádruple”: aumenta las resistencias a todas las edades.

Agua “Quíntuple”: aumenta las resistencias a las edades de 30, 90 y 180; las reduce a 7 y 60 días. Los aumentos representan el 66 % y las reducciones el 33 %.

Las resistencias a compresión acusan más favorablemente la presencia de los iones que las resistencias a flexión.

## MAGNITUD DE LAS VARIACIONES. (Variaciones mayores del 15 %)

### Flexión

De la totalidad de 24 valores, sólo son cuatro los que pasan del 15 %. Predominan en las concentraciones más altas y a los 360 días.

### Compresión

De la totalidad de 24 valores sólo dos pasan del 15 %. Predominan en las concentraciones más altas y a 360 días.

La presencia de los iones parece que ejerce poca influencia sobre las resistencias, algo mayor en las de flexotracción.

Valores relativos mayores de 100: En las resistencias a flexión aproximadamente la mitad (46 %). En las resistencias a compresión más del 83 % de los valores. En conjunto predominan los aumentos.

## MARGENES DE PROBABILIDAD

Los márgenes mayores aparecen en las resistencias a flexión con mayores valores a las edades de 180 y 360 días y con agua "quíntuple". En las resistencias a compresión la cuantía de los márgenes es muy irregular; como en la flexión crecen a 180 y 360 días y con el agua "quíntuple".

La impresión general de los tres criterios es que existe una tendencia a incrementar las resistencias y que los iones tienen reducida influencia, más acentuada con la edad.

TABLA 2

Resistencias mecánicas del P-350 (en  $\text{kp/cm}^2$ )

### FLEXOTRACCION

Agua	Días											
	7		30		60		90		180		360	
	$x \pm s_m t$	%	$x \pm s_m t$	%	$x \pm s_m t$	%	$x \pm s_m t$	%	$x \pm s_m t$	%	$x \pm s_m t$	%
Doble	86,6 ± 4	105	86 ± 2	108	87 ± 2	96	99 ± 4	99	83 ± 4	99	73 ± 8	86
Triple	82,4 ± 5	100	85 ± 7	107	88 ± 6	97	96 ± 6	107	86 ± 2	102	79,6 ± 4	110
Cuádruple	81 ± 7	98	86 ± 4	108	82 ± 3	91	81 ± 3	90	85 ± 7	101	94 ± 5	110
Quíntuple	85 ± 2	106	94 ± 5	97	79 ± 4	86	72 ± 9	80	83 ± 3	101	96 ± 4	112

### COMPRESION

Agua	Días											
	7		30		60		90		180		360	
	$x \pm s_m t$	%										
Doble	465 ± 7	111	484 ± 9	107	510 ± 7	103	532 ± 8	107	557 ± 9	102	596 ± 15	103
Triple	415 ± 5	99	466 ± 9	103	521 ± 9	106	544 ± 7	108	576 ± 16	106	593 ± 9	103
Cuádruple	421 ± 4	106	493 ± 11	109	524 ± 8	107	551 ± 9	109	593 ± 12	109	602 ± 13	104
Quíntuple	422 ± 5	101	504 ± 6	111	527 ± 7	107	554 ± 9	110	590 ± 10	108	624 ± 8	108

$x$  = valor medio de 12 prismas.

$\pm s_m t$  = márgenes con 95 % de probabilidad.

% = valor relativo considerando 100 el alcanzado por los testigos sin sales.

## **SIGNO DE LOS VALORES RELATIVOS**

### **Flexión**

Agua “doble”: aumenta los valores a las edades de 7 y 30 días; decrecen a las edades de 60, 90 180 y 360 días. Los aumentos representan el 33 % y las reducciones el 66 %.

Agua “triple”: aumenta las resistencias a las edades de 30, 90, 180 y 360 días y las reduce a los 60 días; no varían a los 30 días. Los aumentos representan el 66 % y las reducciones el 33 %.

Agua “cuádruple”: aumenta las resistencias a las edades de 30, 180 y 360 días; las reduce a los 7, 60 y 90 días. Los aumentos representan el 50 % y las reducciones el 50 %.

Agua “quíntuple”: aumenta las resistencias a los 7, 180 y 360 días; las reduce a los 30, 60 y 90 días. Los aumentos representan el 50 % y las reducciones el 50 %.

### **Compresión**

Agua “doble”: aumenta las resistencias a todas las edades. Los aumentos representan el 100 %. No hay reducción.

Agua “triple”: aumenta las resistencias a 30, 60, 90, 180 y 360 días. Las reduce a 7 días. Los aumentos representan el 83 % y la reducción el 17 %.

Agua “cuádruple”: aumenta las resistencias a todas las edades. Los aumentos representan el 100 %. No hay reducción.

Agua “quíntuple”: aumenta las resistencias a todas las edades. Los aumentos representan el 100 %. No hay reducción.

Las resistencias a compresión acusan más favorablemente la presencia de los iones que a flexión, de modo similar a lo encontrado en el P-450, pero parece que el P-350 resulta más favorecido.

## **MAGNITUD DE LAS VARIACIONES. (Variaciones mayores del 15 %)**

### **Flexión**

De la totalidad de 24 valores sólo uno pasa del 15 %.

### **Compresión**

Ningún valor pasa el 15 %.

Escasa influencia de los iones en flexotracción y nula en compresión.

Valores relativos mayores de 100: En las resistencias a flexotracción algo más del 50 %; en la compresión son mayores 23 de los 24 valores obtenidos, es decir, el 96 % son aumentos. En conjunto predominan los aumentos.

## **MARGENES DE PROBABILIDAD**

En las resistencias a flexión son, en conjunto, muy moderados; más amplios en compresión, especialmente a las edades mayores.

Al comparar los criterios aparece que el P-350 acusa más la presencia de los iones, que es más favorable en las resistencias a compresión.

TABLA 3

Resistencias mecánicas del P-350 Y (en kp/cm<sup>2</sup>) (1)

**FLEXOTRACCION**

Agua	Días											
	7		30		60		90		180		360	
	$x \pm s_m t$	%										
Doble	52 ± 9	107	79 ± 8	110	89 ± 8	133	77 ± 5	108	80 ± 4	117	72 ± 8	123
Triple	67 ± 4	115	80 ± 2	111	82 ± 3	129	82 ± 5	116	79 ± 4	116	77 ± 3	120
Cuádruple	68 ± 9	113	74 ± 6	104	80 ± 2	127	81 ± 9	115	88 ± 6	130	85 ± 8	131
Quíntuple	74 ± 2	129	83 ± 4	116	83 ± 3	129	83 ± 3	118	72 ± 9	110	85 ± 7	133

**COMPRESION**

Agua	Días											
	7		30		60		90		180		360	
	$x \pm s_m t$	%										
Doble	326 ± 7	112	439 ± 6	103	509 ± 14	123	460 ± 8	97	527 ± 14	116	505 ± 9	121
Triple	376 ± 8	129	450 ± 11	105	485 ± 20	117	497 ± 5	105	518 ± 15	115	512 ± 10	123
Cuádruple	367 ± 11	129	446 ± 7	104	461 ± 8	112	506 ± 18	107	531 ± 23	113	552 ± 14	132
Quíntuple	406 ± 7	139	486 ± 11	114	495 ± 12	120	516 ± 10	109	518 ± 10	114	545 ± 14	131

$x$  = valor medio de 12 prismas.  
 $\pm s_m t$  = márgenes con 95 % de probabilidad.  
 % = valor relativo considerando 100 el alcanzado por los testigos sin sales.

**SIGNO DE LOS VALORES RELATIVOS**

**Flexión**

Las cuatro "aguas" aumentan las resistencias a todas las edades. Los aumentos representan el 100 %. No hay reducciones.

**Compresión**

Agua "doble": aumenta las resistencias a las edades de 7, 30, 60, 180 y 360 días. Las reduce a los 90 días. Los aumentos representan el 83 % y la reducción el 17 %.

Las aguas "triple" "cuádruple" "quíntuple": aumentan las resistencias a todas las edades. No hay reducciones. Los aumentos representan el 100 %.

En conjunto el aumento es, prácticamente, total en flexión y compresión.

**MAGNITUD DE LAS VARIACIONES. (Variaciones mayores del 15 %)**

**Flexión**

De la totalidad de 24 valores son mayores del 15 %, 17, es decir, el 66 %.

**Compresión**

De los 24 valores, la mitad son mayores del 15 %.

El efecto de los iones aparece muy acusado.

Valores relativos mayores de 100: En las resistencias a flexión son todos los hallados. En las resistencias a compresión el 96 % son superiores a 100.

Las magnitudes son muy altas especialmente en flexión a 360 días y en compresión a 180 y 360 días.

En conjunto muy acusado efecto elevador.

## MARGENES DE PROBABILIDAD

Los márgenes en flexotracción son todos menores de 10. En compresión los márgenes son mayores que en flexotracción y muy variados. En resumen, en flexotracción la impresión es más favorable que en la compresión.

Los tres criterios permiten deducir que la presencia de los iones incrementan mucho las resistencias, pero aparece muy marcada la heterogeneidad, especialmente al aumentar la edad y la concentración.

T A B L A 4

Resistencias mecánicas del P-350 Y (en  $\text{kp/cm}^2$ ) (2)

### FLEXOTRACCION

Agua	Días											
	7		30		60		90		180		360	
	$x \pm s_m t$	%										
Doble	74 ± 6,5	111	81 ± 9	94	89 ± 4	109	89 ± 6	101	92 ± 7	122	89 ± 5	105
Triple	79 ± 8	119	79 ± 2	91	93 ± 8	113	75 ± 5	94	83 ± 6	110	91 ± 5	108
Cuádruple	73 ± 6	110	84 ± 6	97	91 ± 4	110	84 ± 4	105	86 ± 3	114	90 ± 4	107
Quíntuple	68 ± 3	105	87 ± 4	101	87 ± 4	107	89 ± 7	110	86 ± 5	113	88 ± 6	105

### COMPRESION

Agua	Días											
	7		30		60		90		180		360	
	$x \pm s_m t$	%										
Doble	394 ± 12	122	511 ± 13	103	532 ± 23	103	583 ± 33	116	648 ± 36	140	649 ± 23	138
Triple	428 ± 11	132	538 ± 14	108	553 ± 17	107	520 ± 14	103	560 ± 17	119	618 ± 10	131
Cuádruple	416 ± 8	129	524 ± 15	105	590 ± 13	114	563 ± 23	112	579 ± 19	123	644 ± 22	136
Quíntuple	376 ± 9	116	517 ± 11	104	544 ± 16	105	549 ± 12	109	532 ± 11	113	641 ± 13	136

$x$  = valor medio de 12 prismas.

$\pm s_m t$  = márgenes con 90 % de probabilidad.

% = valor relativo considerando 100 el alcanzado por los testigos sin sales.

### SIGNO DE LOS VALORES RELATIVOS

#### Flexotracción

Agua "doble": aumenta las resistencias a las edades de 7, 60, 90, 180 y 360 días, las reduce a 30 días. Los aumentos representan el 83 % y la disminución el 17 %.

Agua "triple": aumenta las resistencias a 7, 60, 180 y 360 días, las disminuyen a 30 y 90 días. Los aumentos representan el 66 % y las disminuciones el 33 %.

Agua "cuádruple": aumenta las resistencias a las edades de 7, 60, 90, 180 y 360 días, las disminuye a 30 días. Los aumentos representan el 83 % y la disminución el 17 %.

Agua "quíntuple": aumenta las resistencias a todas las edades. No hay reducción.

Los aumentos representan el 100 %.

En conjunto predominan los aumentos.

#### Compresión

Todas las "aguas" y a todas las edades aumentan las resistencias. En resumen casi total aumento de resistencias.

## VALOR DE LAS VARIACIONES

En flexotracción el 8 % de los valores son mayores de 15 %. En compresión el 50 % de los valores son mayores del 15 %.

El efecto de los iones se acusa más en compresión.

Valores relativos mayores de 100: En flexotracción son mayores de 100 el 83 % y en compresión todos los hallados.

## MARGENES DE PROBABILIDAD

Los márgenes en flexotracción son todos menores de 10. En compresión hay mucha variación, el 92 % son mayores de 22.

Buena impresión, en flexotracción poca heterogeneidad. En compresión mucha heterogeneidad.

Los tres criterios parecen indicar mucho aumento de resistencias y mucho efecto de los iones sobre las resistencias, de ahí la heterogeneidad marcada en compresión.

TABLE 5

Resistencias mecánicas del P-350 Y (en  $\text{kp/cm}^2$ ) (3)

### FLEXOTRACCION

Agua	Días											
	7		30		60		90		180		360	
	$x \pm s_m t$	%	$x \pm s_m t$	%	$x \pm s_m t$	%	$x \pm s_m t$	%	$x \pm s_m t$	%	$x \pm s_m t$	%
Doble	81 ± 7	102	92 ± 5	115	83 ± 6	98	84 ± 5	96	94 ± 3	103	91 ± 3	107
Triple	77 ± 7	96	90 ± 3	113	83 ± 2	97	85 ± 2	87	96 ± 6	95	94 ± 5	113
Cuádruple	82 ± 4	103	85 ± 4	107	84 ± 4	99	89 ± 5	100	91 ± 1	101	92 ± 2	111
Quíntuple	76 ± 4	96	84 ± 8	105	85 ± 6	99	87 ± 7	99	96 ± 7	106	88 ± 7	106

### COMPRESION

Agua	Días											
	7		30		60		90		180		360	
	$x \pm s_m t$	%										
Doble	525 ± 16	110	652 ± 26	119	631 ± 13	113	589 ± 3	105	609 ± 12	104	655 ± 15	110
Triple	510 ± 17	107	604 ± 12	104	618 ± 11	111	638 ± 16	114	641 ± 33	102	680 ± 16	114
Cuádruple	443 ± 13	114	589 ± 14	101	592 ± 21	106	629 ± 13	112	637 ± 11	109	685 ± 11	115
Quíntuple	533 ± 11	112	615 ± 12	106	644 ± 16	115	625 ± 13	112	648 ± 18	111	675 ± 18	113

$x$  = valor medio de 12 prismas.

$\pm s_m t$  = márgenes con 90 % de probabilidad.

% = valor relativo considerando 100 el alcanzado por los testigos sin sales.

## SIGNO DE LOS VALORES RELATIVOS

### Flexotracción

Agua "doble": aumenta las resistencias a las edades de 7, 30, 180 y 360 días; disminuye a las edades de 60 y 90 días. Los aumentos representan el 66 % y las disminuciones el 33 %.

Agua "triple": aumenta las resistencias a las edades de 30 y 360 días; las disminuye a las edades de 7, 60, 90 y 180 días. Los aumentos representan el 33 % y las disminuciones el 66 %.

Agua "cuádruple": aumenta las resistencias a las edades de 7, 30, 90, 180 y 360 días; las disminuye a la de 60 días. Los aumentos representan el 83 % y la disminución el 17 %.

Agua "quíntuple": aumenta las resistencias a las edades de 30, 180 y 360 días; las disminuye a los 7, 60 y 90 días. Los aumentos representan el 50 % y las disminuciones el 50 %.

### Compresión

Aumentan las resistencias a todas las edades y concentraciones.

No hay reducción. Los aumentos representan el 100 %.

En conjunto predominan los aumentos.

### MAGNITUD DE LAS VARIACIONES

Valores mayores del 15 %: tanto en flexotracción como en compresión el 8 % de los valores son mayores del 15 %. Escasa influencia de los iones.

Valores mayores de 100. Los valores relativos mayores de 100 son: flexotracción el 58 % y compresión la totalidad o el 100 %.

### MARGENES DE PROBABILIDAD

Los márgenes son: mayores de 5 el 62 % en flexotracción y el 100 % en compresión. Bastante heterogeneidad en compresión.

Los tres criterios acusan un marcado aumento en las resistencias, especialmente en compresión; poco efecto de los iones y marcada heterogeneidad.

TABLA 6

Resistencias mecánicas del P Y PUZ 250 (en  $\text{kp/cm}^2$ )

### FLEXOTRACCION

Agua	Días											
	7		30		60		90		180		360	
	$x \pm s_m t$	%										
Doble	42 ± 3	108	62 ± 6	129	66 ± 6	123	72 ± 8	120	66 ± 2	120	82 ± 6	152
Triple	44 ± 2	114	63 ± 5	131	72 ± 4	133	74 ± 5	125	73 ± 7	139	75 ± 4	138
Cuádruple	47 ± 4	121	65 ± 4	135	68 ± 5	127	68 ± 5	114	75 ± 6	134	76 ± 6	139
Quíntuple	48 ± 2	122	69 ± 3	141	71 ± 9	132	73 ± 3	122	76 ± 5	136	76 ± 6	140

### COMPRESION

Agua	Días											
	7		30		60		90		180		360	
	$x \pm s_m t$	%										
Doble	169 ± 4	119	290 ± 6	116	312 ± 9	124	377 ± 3	131	388 ± 2	130	462 ± 10	161
Triple	193 ± 2	137	292 ± 8	135	340 ± 8	135	367 ± 9	128	423 ± 11	142	421 ± 12	147
Cuádruple	204 ± 6	144	302 ± 8	120	341 ± 16	135	352 ± 12	123	389 ± 15	130	431 ± 18	150
Quíntuple	211 ± 6	148	319 ± 4	127	349 ± 6	139	363 ± 4	126	402 ± 7	134	456 ± 5	159

$x$  = valor medio de 12 prismas.

$\pm s_m t$  = márgenes con 90 % de probabilidad.

% = valor relativo considerando 100 el alcanzado por los testigos sin sales.

## SIGNO DE LOS VALORES RELATIVOS

Tanto en flexotracción como en compresión, todas las "aguas" y en todas las edades producen aumentos de las resistencias. No hay reducciones.

## MAGNITUD DE LAS VARIACIONES

Valores mayores del 15 %: en flexotracción son mayores del 15 % el 83 %.

En compresión todos los valores son mayores del 15 %.

Valores mayores de 100. No hay valores menores de 100 ni en flexión ni en compresión. Entre 100 y 120 hay el 10 %; entre 120 y 130 el 29 %; entre 130 y 140 el 35 %; entre 140 y 150 el 14 %; entre 150 y 160 el 6 %, y el 2 % mayor de 160.

## MARGENES DE PROBABILIDAD

Los márgenes son en flexotracción menores que en compresión; pero en los 48 valores obtenidos destaca la menor magnitud comparados con otros conglomerantes.

En resumen, este conglomerante experimenta un notable aumento de las resistencias, acusa mucho la presencia de los iones y ofrece una moderada heterogeneidad.

TABLA 7

Resistencias mecánicas del PUZ I 350 (en  $\text{kp/cm}^2$ )

### FLEXOTRACCION

Agua	Días											
	7		30		60		90		180		360	
	$x \pm s_m t$	%	$x \pm s_m t$	%	$x \pm s_m t$	%	$x \pm s_m t$	%	$x \pm s_m t$	%	$x \pm s_m t$	%
Doble	56 ± 4	98	68 ± 7	101	70 ± 8	111	69 ± 6	91	75 ± 8	106	83 ± 6	107
Triple	59 ± 3	101	69 ± 5	103	66 ± 2	104	74 ± 8	97	76 ± 3	107	78 ± 6	105
Cuádruple	58 ± 2	100	68 ± 3	101	70 ± 7	107	73 ± 5	97	76 ± 4	107	82 ± 5	108
Quintuple	63 ± 2	108	71 ± 4	106	73 ± 4	106	61 ± 4	98	81 ± 9	114	73 ± 6	98

### COMPRESION

Agua	Días											
	7		30		60		90		180		360	
	$x \pm s_m t$	%	$x \pm s_m t$	%	$x \pm s_m t$	%	$x \pm s_m t$	%	$x \pm s_m t$	%	$x \pm s_m t$	%
Doble	274 ± 7	98	358 ± 20	97	359 ± 5	104	384 ± 11	96	407 ± 13	101	453 ± 12	102
Triple	261 ± 4	93	332 ± 5	91	344 ± 6	98	358 ± 7	89	389 ± 5	97	447 ± 12	101
Cuádruple	262 ± 4	94	316 ± 11	86	369 ± 6	106	358 ± 6	87	389 ± 9	99	440 ± 20	99
Quintuple	271 ± 8	97	326 ± 13	89	359 ± 9	103	354 ± 11	88	387 ± 15	97	433 ± 5	97

$x$  = valor medio de 12 prismas.

$\pm s_m t$  = márgenes con 90 % de probabilidad.

% = valor relativo considerando 100 el alcanzado por los testigos sin sales.

## **SIGNO DE LOS VALORES RELATIVOS**

### **Flexotracción**

Agua "doble": aumenta las resistencias a las edades de 30, 60, 180 y 360 días; disminuye a las edades de 7 y 90 días. Los aumentos representan el 66 % y las disminuciones el 34 %.

Agua "triple": aumenta las resistencias a las edades de 7, 30, 60, 180 y 360 días; las disminuye a los 90 días. Los aumentos representan el 83 % y la disminución el 17 %.

Agua "cuádruple": aumenta las resistencias a las edades de 7, 30, 60, 180 y 360 días; las disminuye a los 90 días. Los aumentos representan el 83 % y la disminución el 17 %.

Agua "quíntuple": aumenta las resistencias a las edades de 7, 30, 60 y 180 días; las disminuye a los 90 y 360 días. Los aumentos representan el 66 % y las disminuciones el 34 %.

### **Compresión**

Agua "doble": aumenta las resistencias a las edades de 60, 180 y 360 días; las disminuye a los 7, 30 y 90 días. Los aumentos representan el 50 % y las reducciones el 50 %.

Agua "triple": aumenta las resistencias sólo a los 360 días; las reduce a 7, 30, 60, 90 y 180 días. Los aumentos representan el 17 % y las reducciones el 83 %.

Agua "cuádruple": aumenta las resistencias a las edades de 60 días; las reduce a los 7, 30, 90, 180 y 360 días. Los aumentos representan el 17 % y las reducciones el 83 %.

Agua "quíntuple": aumenta las resistencias a las edades de 60 días; las reduce a los 7, 30, 90, 180 y 360 días. El aumento representa el 17 % y la reducción el 83 %.

En flexotracción los aumentos doblan a las disminuciones; en compresión predominan las reducciones.

## **MAGNITUD DE LAS VARIACIONES**

Valores mayores del 15 %. Ni en flexotracción ni en compresión hay valores mayores del 15 %. Los iones ejercen poca influencia.

Valores mayores de 100: En flexotracción representan el 75 % y en compresión el 17 %. En conjunto poco aumenta la compresión.

## **MARGENES DE PROBABILIDAD**

En flexotracción, de los 24 valores, son menores de 5, 11; en compresión 2 son menores de 5, 12 menores de 10, y 10 mayores de 10. La heterogeneidad es notable y acentuada en la compresión.

Puede decirse que a este conglomerante la presencia de los iones más bien le perjudica, especialmente en la compresión.

TABLA 8

Resistencias mecánicas del S III 250 (en kp/cm<sup>2</sup>)

**FLEXOTRACCION**

Agua	Días											
	7		30		60		90		180		360	
	$x \pm s_m t$	%										
Doble	32 ± 5	89	42 ± 3	92	44 ± 5	92	44 ± 1	87	47 ± 5	84	66 ± 7	130
Triple	33 ± 2	92	52 ± 4	112	49 ± 8	102	51 ± 2	93	57 ± 8	102	66 ± 5	130
Cuádruple	39 ± 9	108	39 ± 14	84	43 ± 2	90	53 ± 4	104	55 ± 5	98	68 ± 8	134
Quíntuple	59 ± 5	108	43 ± 6	94	50 ± 11	104	55 ± 5	104	59 ± 5	105	71 ± 5	140

**COMPRESION**

Agua	Días											
	7		30		60		90		180		360	
	$x \pm s_m t$	%	$x \pm s_m t$	%								
Doble	124 ± 3	76	167 ± 7	76	207 ± 5	83	228 ± 11	83	240 ± 8	90	296 ± 8	91
Triple	114 ± 5	70	206 ± 4	94	222 ± 13	91	226 ± 7	90	256 ± 15	93	296 ± 8	91
Cuádruple	130 ± 5	80	180 ± 10	82	212 ± 3	87	231 ± 14	92	244 ± 15	89	296 ± 8	100
Quíntuple	129 ± 4	79	195 ± 4	89	227 ± 11	93	245 ± 11	97	282 ± 8	102	306 ± 6	104

$x$  = valor medio de 12 prismas.

$\pm s_m t$  = márgenes con 90 % de probabilidad.

% = valor relativo considerando 100 el alcanzado por los testigos sin sales.

**SIGNO DE LOS VALORES RELATIVOS**

**Flexotracción**

Agua "doble": aumenta las resistencias a la edad de 360 días; las disminuye a los 7, 30, 60, 90, 180 días. El aumento representa el 17 %; los descensos 83 %.

Agua "triple": aumenta las resistencias a las edades de 30, 60, 180 y 360 días; las disminuye a 7 y 90 días. Los aumentos representan el 66 % y las reducciones el 33 %.

Agua "cuádruple": aumenta las resistencias a las edades de 7, 90 y 360 días; las reduce a 30, 60 y 180 días. Los aumentos y las reducciones representan por igual el 50 %.

Agua "quíntuple": aumenta las resistencias a las edades de 7, 60, 90, 180 y 360 días; las reduce a los 30 días. Los aumentos representan el 83 % y el 17 % las reducciones.

**Compresión**

Aguas "doble" y "triple": no aumentan las resistencias a ninguna edad; las reducciones representan el 100 %.

Agua "cuádruple": Sólo a los 360 días no altera las resistencias. Los descensos representan el 83 %.

Agua "quíntuple": sólo aumentan las resistencias a los 180 y 360 días. Los aumentos representan el 33 % y los descensos el 67 %.

En conjunto, en flexotracción predominan los aumentos, y en compresión las disminuciones; aparecen valores muy bajos.

## MAGNITUD DE LAS VARIACIONES

Valores mayores de 15 %. Sólo en flexotracción aparece el 17 %; en compresión ningún valor es superior al 15 %.

Valores mayores de 100: El 54 % en flexotracción y el 12 % en compresión.

En resumen: Los iones ejercen muy poca influencia, por lo menos positiva.

## MARGENES DE PROBABILIDAD

Tanto en flexotracción como en compresión los márgenes son pequeños.

Los tres criterios acusan que a este conglomerante no le benefician los iones presentes en el agua de amasado, especialmente sobre las resistencias a compresión.

TABLA 9

Resistencias mecánicas del A 450 (en  $\text{kp}/\text{cm}^2$ )

### FLEXOTRACCION

Agua	Días											
	7		30		60		90		180		360	
	$x \pm s_m t$	%	$x \pm s_m t$	%	$x \pm s_m t$	%	$x \pm s_m t$	%	$x \pm s_m t$	%	$x \pm s_m t$	%
Doble	77 ± 2	80	91 ± 5	102	85 ± 6	97	93 ± 8	115	95 ± 10	126	81 ± 8	123
Triple	77 ± 3	81	93 ± 9	105	93 ± 2	106	102 ± 9	125	82 ± 5	109	83 ± 6	127
Cuádruple	70 ± 3	83	83 ± 8	93	93 ± 3	107	96 ± 3	119	88 ± 7	117	88 ± 6	134
Quíntuple	64 ± 4	74	82 ± 4	92	93 ± 11	106	90 ± 6	111	84 ± 6	109	82 ± 8	125

### COMPRESION

Agua	Días											
	7		30		60		90		180		360	
	$x \pm s_m t$	%	$x \pm s_m t$	%	$x \pm s_m t$	%	$x \pm s_m t$	%	$x \pm s_m t$	%	$x \pm s_m t$	%
Doble	641 ± 10	85	720 ± 81	107	854 ± 21	139	788 ± 28	129	727 ± 35	162	600 ± 42	154
Triple	644 ± 12	86	748 ± 24	90	784 ± 28	128	800 ± 26	130	677 ± 24	151	701 ± 25	178
Cuádruple	566 ± 26	75	705 ± 31	84	767 ± 13	125	704 ± 17	115	696 ± 45	155	665 ± 19	171
Quíntuple	522 ± 25	70	642 ± 12	77	685 ± 29	110	632 ± 26	103	662 ± 42	148	562 ± 29	145

$x$  = valor medio de 12 prismas.

$\pm s_m t$  = márgenes con 90 % de probabilidad.

% = valor relativo considerando 100 el alcanzado por los testigos sin sales.

## SIGNO DE LOS VALORES RELATIVOS

### Flexotracción

Agua "doble": aumenta las resistencias a las edades de 30, 90, 180 y 360 días; las disminuye a los 7 y 60 días. Los aumentos representan el 66 % y las disminuciones el 34 %.

Agua "triple": aumenta las resistencias a las edades de 30, 60, 90, 180 y 360 días; las disminuye a los 7 días. Los aumentos representan el 83 % y las reducciones el 17 %.

Aguas "cuádruple" y "quíntuple": aumentan las resistencias a las edades de 60, 90, 180 y 360 días; las reducen a los 7 y 30 días. Los aumentos representan el 66 % y las disminuciones el 33 %.

## **Compresión**

Agua “doble”: aumenta las resistencias a las edades de 30, 60, 90, 180 y 360 días; las reduce a los 7 días. Los aumentos representan el 83 % y la reducción el 17 %.

Aguas “triple” “cuádruple” y “quíntuple”: aumentan las resistencias a las edades de 60, 90, 180 y 360 días; las reducen a los 7 y 30 días. Los aumentos representan el 67 % y las reducciones el 33 %.

En conjunto predominan los aumentos en igual proporción en flexotracción que en compresión.

## **MAGNITUD DE LAS VARIACIONES**

Valores mayores del 15 %: en flexotracción el 33 % y en compresión el 50 %.

Valores mayores de 100: el 71 % tanto en flexotracción como en compresión.

## **MARGENES DE PROBABILIDAD**

En flexotracción son moderados; en compresión predominan los valores altos y son muy variados.

Los tres criterios ponen de manifiesto que a este conglomerante le benefician los iones presentes en las aguas de amasado. Es muy sensible a su presencia, más aún en la compresión, y no aparece una caída de resistencias en las edades avanzadas.

## **REFLEXIONES FINALES**

La experiencia recogida, aunque limitada, permite considerar a los conglomerantes ensayados agrupados en tres categorías.

Los dos cementos del tipo “portland sin propiedades adicionales” aparecen como poco sensibles a la presencia de los iones contenidos en el agua de amasado; no sufren deterioro sus resistencias, pero las variaciones entran dentro de los límites del error de los métodos.

Los cuatro cementos que contienen clínker “portland con la propiedad adicional de resistencia al yeso”, así como el cemento aluminoso, experimentan una notable mejoría en sus resistencias al ser amasados con el agua que contiene los iones  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$ .

El cemento siderúrgico y el puzolánico sufren un deterioro en sus resistencias mecánicas por la influencia de los iones presentes en el agua que se utilizó para amasarlos.

Es conveniente recordar que existe la opinión general, aparecida en muchas normas, de que aguas francamente agresivas para los hormigones pueden ser utilizadas para el amasado, siempre que se realice alguna experimentación que dé a conocer la influencia ejercida por ellas.

## **A N E X O**

Para conocer en qué medida se puede permitir la utilización de un agua en el amasado del hormigón se pueden y, en casi todos los casos, *se deben* realizar ensayos de tres categorías:

- 1) Ensayo a pie de obra, de carácter orientativo: amasar unas tortas de cemento con el agua sospechosa y otras con agua destilada; en ambas tortas, mantenidas en cámara húmeda, se ensaya el endurecimiento y el aspecto, que será diferente si el agua no es apropiada.
- 2) Un análisis químico del agua que permita conocer el valor del pH, la dureza total y permanente, las cantidades de  $\text{CO}_2$  (total y agresivo para la cal)  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ , materia orgánica y sales disueltas.
- 3) Un ensayo comparativo de la resistencia a compresión con cubos de hormigón; se preparan dos series de cubos, una amasados con agua destilada (testigos) y otra amasada con el agua que se examina. Ambas series de cubos deben prepararse con iguales proporciones de sus componentes y se debe cuidar que la relación agua/cemento, en ambas series, sea coincidente. Los cubos se conservan según es usual, y a los 28 días se rompen. Si el agua objeto de examen origina una disminución en los valores de la resistencia que no sea mayor del 15 % del valor alcanzado con el agua destilada, se estima que puede emplearse para amasar el hormigón.