



**Institut de  
Tecnologia de la Construcció  
de Catalunya**

Wellington 19  
ES-08018 Barcelona  
Tel. +34 93 309 34 04  
qualprod@itec.cat  
itec.cat



Miembro de



www.eota.eu

## Evaluación Técnica Europea

**ETA 17/0908**  
**de 18.02.2020**



### Parte general

<b>Organismo de Evaluación Técnica que emite la ETE: ITeC</b>	
ITeC ha sido designado de acuerdo con el Artículo 29 del Reglamento (UE) No 305/2011 y es miembro de EOTA (European Organisation for Technical Assessment)	
<b>Nombre comercial del producto de construcción</b>	<b>Pozzolánica Solena</b>
<b>Área de producto a la que pertenece</b>	26 – Productos relacionados con el hormigón, el mortero y las lechadas.
<b>Fabricante</b>	<b>SOLENA s.r.l.</b> Via C. Cattaneo 62 IT-23900 Lecco Italia
<b>Planta(s) de fabricación</b>	Via Strada Statale dei Giovi 80 Paderno Dugnano IT-20037 Milán Italia
<b>La presente Evaluación Técnica Europea contiene</b>	15 páginas
<b>La presente Evaluación Técnica Europea se emite de acuerdo con el Reglamento (UE) 305/2011, en base a</b>	EAD 260009-00-0301 <i>Cenizas de fondo procedentes de incineradores de residuos sólidos urbanos empleadas como adición tipo II para la producción de hormigón, mortero y lechada.</i>
<b>Esta ETE substituye</b>	ETA 17/0908 de 24.05.2018

### **Comentarios generales**

Evaluación Técnica Europea emitida en castellano por el Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña (ITeC). Las traducciones a otros idiomas deben corresponder completamente con el documento original emitido.

La reproducción de la presente Evaluación Técnica Europea, incluyendo su transmisión por medios electrónicos, debe ser integral. Sin embargo, puede realizarse una reproducción parcial con el consentimiento escrito del Organismo de Evaluación Técnica emisor. Cualquier reproducción parcial debe estar designada como tal.

## Partes específicas de la Evaluación Técnica Europea

### 1 Descripción técnica del producto

Pozzolanica Solena es una adición tipo II obtenida mediante un tratamiento físico y químico de cenizas de fondo procedentes de plantas incineradoras de residuos sólidos urbanos (residuos de hogares y residuos de origen comercial, industrial e institucional que, debido a su naturaleza y composición, son similares a los residuos de hogares, excluyendo residuos peligrosos).

El proceso de tratamiento se caracteriza por una micronización en vía húmeda de partículas minerales, por el elevado nivel alcanzado de separación de fragmentos metálicos inicialmente presentes en el producto, y, particularmente, por el hecho que el producto final está libre de aluminio metálico y en consecuencia no induce la formación de hidrógeno<sup>1</sup>.

El producto final (el cual, después de la micronización en vía húmeda en forma de lodo, se somete a una fase de deshidratación parcial) es un árido húmedo de apariencia arenosa y un tamaño de grano desde 0 mm hasta 6 mm, constituido por partículas finas elementales agrupadas. El agua presente en el producto debería considerarse como agua de hidratación en el diseño del hormigón.

El producto se utiliza normalmente en combinación con un plastificante y/o superplastificante y, en condiciones particulares, en dependencia de otros componentes del hormigón, del diseño de la mezcla, etc., puede requerirse la adición de un antiespumante<sup>2</sup> con el fin de evitar el atrapamiento del exceso de aire. La forma granulada puede requerir un tiempo de mezcla adicional para dispersar las partículas.

El producto está registrado en el REACH y su número CE es 939-997-0.

Respecto al embalaje, transporte y almacenamiento del producto, es responsabilidad del fabricante tomar las medidas adecuadas y asesorar a sus clientes sobre el transporte y el almacenamiento del producto como considere necesario.

El producto se instalará de acuerdo con las instrucciones del fabricante o (en ausencia de tales instrucciones) de acuerdo con la práctica habitual de los profesionales de la construcción.

### 2 Especificación del uso(s) previsto(s) de acuerdo con el Documento de Evaluación Europea (DEE en adelante) aplicable

Pozzolanica Solena se usa como adición tipo II para hormigón, incluyendo hormigón fabricado en obra u hormigón prefabricado estructural de acuerdo con EN-206. También se puede usar en morteros y lechadas.

Pozzolanica Solena se usa en combinación con cemento Portland (CEM I) y cementos Portland compuestos (CEM II/A) con los porcentajes indicados en el anexo A. Las clases de exposición evaluadas se indican en el anexo B.

### 3 Prestaciones del producto y referencias a los métodos de evaluación

Las prestaciones de la adición tipo II Pozzolanica Solena, relacionadas con los Requisitos Básicos (en adelante RB), se determinan de acuerdo con el EAD 260009-00-0301 *Cenizas de fondo procedentes de incineradores de residuos sólidos urbanos empleadas como adición tipo II para la producción de hormigón, mortero y lechada*. Las características esenciales de Pozzolanica Solena se incluyen en la tabla 3.1.

<sup>1</sup> La formación de hidrógeno puede causar problemas de expansión en el hormigón fresco, este es un fenómeno habitual de dichas cenizas.

<sup>2</sup> El producto incorpora normalmente una cierta cantidad de antiespumante añadida durante su producción. No obstante, en algunos hormigones, dependiendo principalmente del superplastificante, del diseño de la mezcla y de otros constituyentes (cemento, áridos, etc.), es necesario añadir cantidades adicionales de antiespumante.

Requisito Básico	Característica esencial	Prestación			
RB 1 Resistencia mecánica y estabilidad	SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	63,59 %			
	Sulfatos totales (SO <sub>3</sub> ) (≤ 3 %)	0,47 %			
	Composición <sup>(1)</sup>	Cloruros totales (Cl <sup>-</sup> )	0,16 %		
		Cloruros solubles en agua (Cl <sup>-</sup> )	0,14 %		
	Fosfatos totales (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) (≤ 5 %)	1,25 %			
	Índice de actividad <sup>(2)</sup>	A 28 días (≥ 75 %)	82,4 %		
		A 90 días (≥ 85 %)	87,1 %		
	Finura	Tamizado por vía húmeda (≤ 12,0 % en masa)	0,2 %		
		Por difracción láser	D(v;0,5) = 14,40µm		
	Retracción <sup>(3)</sup>	Mortero de referencia	- 1,08%		
		Mortero evaluado	- 1,22%		
	Contenido de humedad <sup>(1)</sup>	20,8 %			
	Pérdida por ignición <sup>(1)</sup>	5,3 %			
	Densidad	PND <sup>(4)</sup>			
	Tiempo de fraguado inicial		Tiempo de fraguado inicial	Tiempo de fraguado final	Tiempo límite de fraguado
		Mortero de referencia	2 h 05 min	3 h 30 min	--
	Mortero evaluado	2 h 25 min	3 h 35 min	≤ 4 h 10 min	
	Resistencia a la compresión	Véase el anexo A			
	Profundidad de penetración de agua bajo presión	Véase el anexo B1			
	Resistencia relativa a la carbonatación	Véase el anexo B2			
Resistencia a la difusión de cloruros	Véase el anexo B3				
Resistencia a los sulfatos	Véase el anexo B4				

**Notas:**

- <sup>(1)</sup> Porcentaje en masa.
- <sup>(2)</sup> Porcentaje entre la resistencia a compresión del mortero evaluado y el mortero de referencia.
- <sup>(3)</sup> Porcentaje de cambio de altura del mortero evaluado y el mortero de referencia con respecto a sus valores iniciales.
- <sup>(4)</sup> PND: Prestación No Determinada.

**Tabla 3.1:** Prestaciones de Pozzolánica Solena.

#### 4 Sistema aplicado para la evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones (de ahora en adelante, EVCP), con referencia a su base legal

De acuerdo con la Decisión 1999/469/EC modificada por la Decisión 2001/596/EC, como modificación de la Comisión Europea<sup>3</sup>, aplica el sistema de EVCP (véase el reglamento delegado (UE) No 568/2014 que modifica el Anexo V del Reglamento (UE) 305/2011) dado en la siguiente tabla.

Producto	Uso previsto	Sistema
Pozzolánica Solena	Adición tipo II para hormigón, mortero y lechada	1+

Tabla 4.1: Sistema EVCP aplicable.

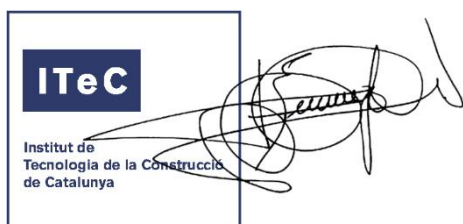
#### 5 Detalles técnicos necesarios para la implementación del sistema de EVCP, según lo previsto en el DEE de aplicación

Todos los detalles técnicos necesarios para la implementación del sistema de EVCP se establecen en el *Plan de Control* depositado en el ITeC<sup>4</sup>, con el que el control de producción en fábrica operado por el fabricante deberá estar conforme.

Cualquier cambio en el proceso de fabricación que pudiera afectar a las propiedades del producto deberá ser notificado, así como los ensayos de tipo que así lo requieran revisados de acuerdo con el *Plan de Control*.

Emitido en Barcelona a 18 de febrero de 2020.

por el Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña.



Ferran Bermejo Nualart

Director Técnico, ITeC

<sup>3</sup> Diario Oficial de la Unión Europea (DOUE) L184/27 de 25/06/1999.

Diario Oficial de la Unión Europea (DOUE) L209/33 de 02/08/2011.

<sup>4</sup> El *Plan de Control* es una parte confidencial de la ETE y accesible solo para el organismo notificado involucrado en el proceso de evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones.

## ANEXO A: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y VALOR K

Cemento	Edad (días)	Agua / cemento ( $\omega_a$ ) <sup>(1)</sup>	k en función de $\omega_r$	Valor k mínimo
60 % CEM I 52.5R + 40 % Pozzolánica Solena	7	0,40	$\frac{-1,326}{\omega_r} + 2,707$	--(2)
		0,50		0,05
		0,60		0,50
	28	0,40	$\frac{-0,468}{\omega_r} + 1,324$	0,16
		0,50		0,39
		0,60		0,54
	90	0,40	$\frac{-0,223}{\omega_r} + 1,158$	--(2)
		0,50		0,31
		0,60		0,59
67 % CEM I 52.5R + 33 % Pozzolánica Solena	7	0,40	$\frac{-0,432}{\omega_r} + 1,426$	0,35
		0,50		0,56
		0,60		0,71
	28	0,40	$\frac{-0,050}{\omega_r} + 0,770$	0,65
		0,50		0,67
		0,60		0,69
	90	0,40	$\frac{-0,223}{\omega_r} + 1,158$	0,25
		0,50		0,53
		0,60		0,71
80 % CEM I 52.5R + 20 % Pozzolánica Solena	7	0,40	$\frac{-0,576}{\omega_r} + 1,798$	0,36
		0,50		0,65
		0,60		0,84
	28	0,40	$\frac{-0,234}{\omega_r} + 1,191$	0,61
		0,50		0,72
		0,60		0,80
	90	0,40	$\frac{-0,318}{\omega_r} + 1,638$	0,42
		0,50		0,63
		0,60		0,77
70 % CEM II/A-LL 42.5R + 30 % Pozzolánica Solena	7	0,40	$\frac{-1,004}{\omega_r} + 2,323$	--(2)
		0,50		0,32
		0,60		0,65
	28	0,40	$\frac{-0,325}{\omega_r} + 1,210$	0,40
		0,50		0,56
		0,60		0,67
	90	0,40	$\frac{-0,200}{\omega_r} + 1,127$	0,44
		0,50		0,51
		0,60		0,55
75 % CEM I 52.5R + 25 % Pozzolánica Solena	7	0,40	$\frac{-0,817}{\omega_r} + 2,029$	--(2)
		0,50		0,40
		0,60		0,67
	28	0,40	$\frac{-0,235}{\omega_r} + 1,138$	0,51
		0,50		0,63
		0,60		0,72

Cemento	Edad (días)	Agua / cemento ( $\omega_a$ ) <sup>(1)</sup>	k en función de $\omega_r$	Valor k mínimo
85 % CEM II/A-LL 42.5R + 15 % Pozzolanica Solena	90	0,40	$\frac{-0,223}{\omega_r} + 1,158$	0,54
		0,50		0,56
		0,60		0,57
	7	0,40	$\frac{-1,062}{\omega_r} + 2,558$	--(2)
		0,50		0,43
		0,60		0,79
	28	0,40	$\frac{0,287}{\omega_r} + 1,256$	0,54
		0,50		0,68
		0,60		0,78
90	0,40	$\frac{0,145}{\omega_r} + 0,744$	0,40	
	0,50		0,53	
	0,60		0,62	

**Notas:**

(1) La relación agua / cemento del mortero evaluado ( $\omega_a$ ) es la misma relación agua / cemento del mortero de referencia ( $\omega_r$ ).

(2) Los valores negativos de k no se declaran porque no tienen significado físico.

**Tabla A1:** Valores k.

## ANEXO B: DURABILIDAD EQUIVALENTE

Esquema de ensayo para la evaluación de durabilidad equivalente:

Cementos involucrados en la evaluación		Clase de exposición
Referencia	Evaluación	
CEM II/A-LL 42.5R	70 % CEM II/A-LL 42.5R	XC4 + XD3 + XS3
CEM IV/A (V) 42.5R <sup>(1)</sup>	+ 25% Pozzolánica Solena	XC4 + XD3 + XS3 + XA3

**Notas:**

- <sup>(1)</sup> Los cementos de referencia y evaluación no son los mismos cuando se evalúa la clase de exposición XA3. Se necesita el CEM IV/A (V) 42.5R para evaluar la clase de exposición XC4 + XD3 + XS3 + XA3. No tiene sentido técnico usar el CEM IV/A 42.5R + 40% Pozzolánica Solena como cemento de evaluación, debido al alto porcentaje de Pozzolánica Solena en este cemento y también porque el titular del ETE no quiere añadir Pozzolánica Solena al CEM IV.

**Tabla B0:** Esquema de ensayo para la evaluación de durabilidad equivalente.

## ANEXO B1: PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN DE AGUA BAJO PRESIÓN

Hormigón	Relación agua / cemento	Profundidad de penetración (máx./media) de agua bajo presión (EN 12390-8) [mm]			Valor medio
		Muestra			
		1	2	3	
100 % CEM IV 42.5R	$\omega_1 = 0,43$	12/10	12/9	13/10	12/10
	$\omega_2 = 0,45$	13/10	12/10	13/11	13/10
	$\omega_3 = 0,47$	14/11	14/11	13/10	14/11
100 % CEM II/A-LL 42.5R	$\omega_1 = 0,43$	15/12	17/12	16/11	16/12
	$\omega_2 = 0,45$	18/15	20/15	18/14	19/15
	$\omega_3 = 0,47$	30/22	31/22	30/23	30/22
70 % CEM II/A-LL 42.5R + 25 % Pozzolánica Solena	$\omega_1 = 0,376$	18/8	19/9	18/7	18/8
	$\omega_2 = 0,394$	21/10	19/11	20/10	20/10
	$\omega_3 = 0,411$	22/11	23/12	22/12	22/12

**Tabla B1:** Profundidad de penetración de agua bajo presión.



## ANEXO B2: RESISTENCIA RELATIVA A LA CARBONATACIÓN

La resistencia relativa a la carbonatación después de 90, 182 y 273 días se muestran en las tablas B2.1, B2.2 y B2.3, respectivamente. La evolución de la profundidad de carbonatación con el tiempo se muestra en la tabla B2.4.

Hormigón	Relación agua / cemento	Profundidad de carbonatación ( $d_k$ ) (CEN/TS 12390-10) [mm]						
		Tras 90 días						Valores medios
		Muestra	Cara de la muestra					
A	B		C	D				
100 % CEM IV 42.5R	$\omega_1 = 0,43$	211 A	0,0	0,6	0,0	0,4	0,2	0,3
		211 B	0,0	0,0	1,6	0,0	0,4	
	$\omega_2 = 0,45$	212 A	1,4	0,9	1,1	1,1	1,1	0,7
		212 B	0,0	0,7	0,0	0,3	0,2	
	$\omega_3 = 0,47$	213 A	0,0	1,3	1,5	0,0	0,7	0,7
		213 B	0,0	0,0	1,5	1,0	0,6	
100 % CEM II/A-LL 42.5R	$\omega_1 = 0,43$	208 A	0,0	0,0	0,0	0,7	0,2	0,8
		208 B	1,9	0,5	2,9	0,0	1,3	
	$\omega_2 = 0,45$	209 A	0,0	1,9	1,1	0,0	0,8	0,6
		209 B	1,0	0,0	0,0	1,1	0,5	
	$\omega_3 = 0,47$	210 A	0,0	2,8	3,0	0,0	1,5	1,2
		210 B	0,2	0,0	1,9	1,8	1,0	
70 % CEM II/A-LL 42.5R + 25 % Pozzolánica Solena	$\omega_1 = 0,376$	214 A	0,0	0,0	1,7	0,0	0,4	0,5
		214 B	0,0	0,0	1,9	0,0	0,5	
	$\omega_2 = 0,394$	215 A	0,0	2,3	0,8	0,9	1,0	0,9
		215 B	0,0	0,4	0,4	2,3	0,8	
	$\omega_3 = 0,411$	216 A	0,0	0,0	1,7	0,0	0,4	0,7
		216 B	0,0	2,0	1,8	0,0	0,9	

**Tabla B2.1:** Profundidad de carbonatación a 90 días.

Hormigón	Relación agua / cemento	Profundidad de carbonatación ( $d_k$ ) (CEN/TS 12390-10) [mm]						
		Tras 182 días						Valores medios
		Muestra	Cara de la muestra					
A	B		C	D				
100 % CEM IV 42.5R	$\omega_1 = 0,43$	211 A	2,0	2,8	2,9	3,0	2,6	2,3
		211 B	2,5	0,0	3,0	3,0	2,1	
	$\omega_2 = 0,45$	212 A	3,0	2,8	3,6	3,2	3,2	3,3
		212 B	3,8	3,5	2,9	3,5	3,4	
	$\omega_3 = 0,47$	213 A	3,5	3,2	2,8	4,3	3,4	3,5
		213 B	3,7	3,9	2,4	3,9	3,5	
100 % CEM II/A-LL 42.5R	$\omega_1 = 0,43$	208 A	2,9	2,0	2,9	3,6	2,9	2,9
		208 B	2,2	3,4	2,6	3,4	2,9	
	$\omega_2 = 0,45$	209 A	3,1	2,5	3,7	3,0	3,1	3,0
		209 B	2,3	4,1	3,2	2,2	3,0	

Hormigón	Relación agua / cemento	Profundidad de carbonatación ( $d_k$ ) (CEN/TS 12390-10) [mm]						
		Tras 182 días						
		Muestra	Cara de la muestra				Valores medios	
A	B		C	D				
70 % CEM II/A-LL 42.5R + 25 % Pozzolánica Solena	$\omega_3 = 0,47$	210 A	4,9	3,6	4,6	4,5	4,4	4,1
		210 B	3,5	4,3	3,6	4,1	3,9	
	$\omega_1 = 0,376$	214 A	2,9	1,9	3,8	3,2	3,0	2,6
		214 B	2,4	2,8	2,1	1,4	2,2	
	$\omega_2 = 0,394$	215 A	1,6	3,0	2,7	3,2	2,6	2,8
		215 B	2,7	3,7	2,4	2,9	2,9	
	$\omega_3 = 0,411$	216 A	4,2	3,4	1,8	3,8	3,3	3,0
		216 B	2,9	2,6	2,7	2,7	2,7	

**Tabla B2.2.** Profundidad de carbonatación a 182 días.

Hormigón	Relación agua / cemento	Profundidad de carbonatación ( $d_k$ ) (CEN/TS 12390-10) [mm]						
		Tras 273 días						
		Muestra	Cara de la muestra				Valores medios	
A	B		C	D				
100 % CEM IV 42.5R	$\omega_1 = 0,43$	211 A	-- (1)	-- (1)	-- (1)	-- (1)	-- (1)	2,9
		211 B	2,5	3,0	3,1	3,1	2,9	
	$\omega_2 = 0,45$	212 A	3,3	3,3	2,4	-- (1)	3,0	3,5
		212 B	3,1	5,5	3,8	3,5	3,9	
	$\omega_3 = 0,47$	213 A	4,0	-- (1)	-- (1)	3,0	3,5	3,5
		213 B	-- (1)	-- (1)	-- (1)	3,5	3,5	
100 % CEM II/A-LL 42.5R	$\omega_1 = 0,43$	208 A	1,9	4,6	3,1	3,5	3,3	3,4
		208 B	3,7	4,6	3,1	2,3	3,4	
	$\omega_2 = 0,45$	209 A	3,5	3,3	-- (1)	4,0	3,6	3,4
		209 B	2,8	3,1	3,8	-- (1)	3,2	
	$\omega_3 = 0,47$	210 A	3,7	4,0	3,7	5,6	4,0	4,1
		210 B	4,7	4,2	3,6	3,9	4,1	
70 % CEM II/A-LL 42.5R + 25 % Pozzolánica Solena	$\omega_1 = 0,376$	214 A	4,0	-- (1)	-- (1)	1,8	2,9	2,8
		214 B	2,0	-- (1)	-- (1)	3,5	2,7	
	$\omega_2 = 0,394$	215 A	3,4	-- (1)	4,1	3,5	3,7	3,8
		215 B	4,3	4,2	3,6	3,8	4,0	
	$\omega_3 = 0,411$	216 A	4,1	3,3	4,2	4,4	4,0	4,2
		216 B	4,7	5,0	4,3	3,8	4,5	

**Table B2.3.** Profundidad de carbonatación a 273 días.

Hormigón	Relación agua / cemento	Profundidad de carbonatación (valor medio) ( $d_{km}$ ) [mm] en función del tiempo de exposición en días		
		90	182	273
100 % CEM IV 42.5R	0,43	0,3	2,3	2,9
100 % CEM II/A-LL 42.5R	0,43	0,8	2,9	3,4
70 % CEM II/A-LL 42.5R + 25 % Pozzolánica Solena	0,376	0,5	2,9	2,8
100 % CEM IV 42.5R	0,45	0,7	3,3	3,5
100 % CEM II/A-LL 42.5R	0,45	0,6	3,0	3,4
70 % CEM II/A-LL 42.5R + 25 % Pozzolánica Solena	0,394	0,9	2,8	3,8
100 % CEM IV 42.5R	0,47	0,7	3,5	3,5
100 % CEM II/A-LL 42.5R	0,47	1,2	4,1	4,1
70 % CEM II/A-LL 42.5R + 25 % Pozzolánica Solena	0,411	0,7	3,0	4,2

**Tabla B2.4:** Evolución de la profundidad de carbonatación con el tiempo.

## ANEXO B3: RESISTENCIA A LA DIFUSIÓN DE CLORUROS

Hormigón	Relación agua / cemento	Penetración de cloruro con medición colorimétrica de borde izquierdo-derecho (EN 12390-11) [mm]						Valor medio
		Muestra	Punto de medición					
			1	2	3	4	5	
100 % CEM IV 42.5R	$\omega_1 = 0,43$	208A'	5	7	9	14	6	8
	$\omega_2 = 0,45$	209A'	15	13	11	12	11	12
	$\omega_3 = 0,47$	210A'	17	15	10	14	13	14
100 % CEM II/A-LL 42.5R	$\omega_1 = 0,43$	211A'	7	6	10	6	9	7
	$\omega_2 = 0,45$	212A'	16	5	7	11	18	11
	$\omega_3 = 0,47$	213A'	6	7	-- <sup>(1)</sup>	9	6	7
70 % CEM II/A-LL 42.5R + 25 % Pozzolánica Solena	$\omega_1 = 0,376$	214A'	8	11	15	11	10	11
	$\omega_2 = 0,394$	215A'	11	10	9	8	9	9
	$\omega_3 = 0,411$	216A'	7	9	7	10	15	10

**Nota:**

<sup>(1)</sup> La presencia de un árido grande en ese punto ha imposibilitado la medición.

**Table B3.1:** Penetración de cloruro.

Muestra	Nivel de referencia en agua potable	Contenido de cloruro [%] en el hormigón				
		A la profundidad [mm] de:				
		0 – 4	4 – 8	8 – 12	12 – 16	16 – 20
208A'	0,035	0,488	0,290	0,188	0,098	0,063
209A'	0,029	0,583	0,335	0,239	0,126	0,078
210A'	0,016	0,549	0,383	0,227	0,153	0,094
211A'	0,016	0,541	0,382	0,179	0,089	0,036
212A'	0,013	0,364	0,298	0,151	0,073	0,074
213A'	0,013	0,475	0,355	0,246	0,065	0,037
214A'	0,023	0,453	0,319	0,151	0,065	0,047
215A'	0,014	0,270	0,250	0,117	0,047	0,038
216A'	0,033	0,312	0,324	0,214	0,100	0,067

**Tabla B3.2:** Perfil cuantitativo de penetración de cloruro.

## ANEXO B4: RESISTENCIA A LOS SULFATOS

Solución de 4,4 % Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a 20 °C (almacenamiento en sulfato a 20 °C)							
Edad de las muestras [días]	Características evaluadas (valor medio de 3 muestras) para CEM IV/A (V) 42.5R ( $\omega_2 = 0,45$ )						
	Dimensiones (altura, anchura y longitud) [mm]			Expansión longitudinal ( $\Delta L$ ) [mm/m]	Masa [g]	Densidad (D) (EN 12390-7) [kg/m <sup>3</sup> ]	Módulo elástico $E_d = D \cdot V^2 \cdot 0,83$ (EN 12504-1) [N/mm <sup>2</sup> ]
0	14,21	39,90	159,99	--	212,56	2.343	38.208
14	14,20	39,87	159,97	-0,125	212,43	2.346	38.656
28	14,18	39,82	159,93	-0,375	212,37	2.353	39.567
56	14,17	39,85	159,93	-0,375	213,25	2.361	41.390
90	14,21	39,92	159,98	-0,063	214,91	2.368	43.405
180	14,25	39,75	159,89	-0,625	214,88	2.372	45.227

Características evaluadas (valor medio de 3 muestras) para 70 % CEM II/A-LL 42.5R + 25% Pozzolánica Solena ( $\omega_2 = 0,394$ )							
Edad de las muestras [días]	Características evaluadas (valor medio de 3 muestras) para 70 % CEM II/A-LL 42.5R + 25% Pozzolánica Solena ( $\omega_2 = 0,394$ )						
	Dimensiones (altura, anchura y longitud) [mm]			Expansión longitudinal ( $\Delta L$ ) [mm/m]	Masa [g]	Densidad (D) (EN 12390-7) [kg/m <sup>3</sup> ]	Módulo elástico $E_d = D \cdot V^2 \cdot 0,83$ (EN 12504-1) [N/mm <sup>2</sup> ]
0	13,63	39,91	159,79	--	210,51	2.425	38.364
14	13,64	39,84	159,73	-0,375	210,66	2.432	39.373
28	13,65	39,83	159,70	-0,563	211,17	2.437	39.967
56	13,72	39,59	159,67	-0,751	211,49	2.448	43.114
90	13,72	39,58	159,66	-0,814	211,70	2.451	46.045
180	13,70	39,72	159,58	-1,314	213,20	2.464	47.833

**Tabla B4.1:** Evaluación de resistencia a los sulfatos (almacenamiento en sulfato a 20 °C).

Solución de 4,4 % Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a 5 °C (almacenamiento en sulfato a 5 °C).							
Edad de las muestras [días]	Características evaluadas (valor medio de 3 muestras) para CEM IV/A (V) 42.5R ( $\omega_2 = 0,45$ )						
	Dimensiones (altura, ancho y longitud) [mm]			Expansión longitudinal ( $\Delta L$ ) [mm/m]	Masa [g]	Densidad (D) (EN 12390-7) [kg/m <sup>3</sup> ]	Módulo elástico $E_d = D \cdot V^2 \cdot 0,83$ (EN 12504-1) [N/mm <sup>2</sup> ]
0	12,93	39,91	159,87	--	202,07	2.381	35.192
14	13,56	39,91	159,88	0,063	202,30	2.372	36.254
28	13,40	39,92	159,84	-0,188	202,59	2.370	37.797
56	13,40	39,89	159,86	-0,063	202,87	2.373	38.343
90	13,35	39,99	159,82	-0,313	202,98	2.379	39.008
180	13,39	39,92	159,74	-0,813	204,06	2.389	43.695

Edad de las muestras [días]	Características evaluadas (valor medio de 3 muestras) para 70 % CEM II/A-LL 42.5R + 25% Pozzolánica Solena ( $\omega_2 = 0,394$ )						
	Dimensiones (altura, anchura y longitud) [mm]			Expansión longitudinal ( $\Delta L$ ) [mm/m]	Masa [g]	Densidad (D) (EN 12390-7) [kg/m <sup>3</sup> ]	Módulo elástico $E_d = D \cdot V^2 \cdot 0,83$ (EN 12504-1) [N/mm <sup>2</sup> ]
0	13,99	39,91	159,87	--	214,86	2.409	36.556
14	13,98	39,91	159,82	-0,313	214,93	2.412	36.947
28	13,99	39,91	159,77	-0,626	214,85	2.412	37.358
56	14,05	40,00	159,73	-0,876	215,77	2.407	40.255
90	14,10	39,90	159,73	-0,876	216,11	2.408	42.437
180	14,09	39,88	159,75	-0,751	216,26	2.411	42.429

**Tabla B4.2:** Evaluación de resistencia a los sulfatos (almacenamiento en sulfato a 5 °C).

Solución saturada de Ca(OH) <sub>2</sub> a 20 °C (almacenamiento de referencia a 20 °C).							
Edad de las muestras [días]	Características evaluadas (valor medio de 3 muestras) para CEM IV/A (V) 42.5R ( $\omega_2 = 0,45$ )						
	Dimensiones (altura, anchura y longitud) [mm]			Expansión longitudinal ( $\Delta L$ ) [mm/m]	Masa [g]	Densidad (D) (EN 12390-7) [kg/m <sup>3</sup> ]	Módulo elástico $E_d = D \cdot V^2 \cdot 0,83$ (EN 12504-1) [N/mm <sup>2</sup> ]
0	12,57	40,00	160,01	--	190,99	2.373	36.138
14	12,64	40,04	160,01	0,000	191,26	2.360	36.914
28	12,66	40,05	159,99	-0,125	191,64	2.361	39.464
56	12,67	40,09	159,97	-0,250	191,95	2.359	39.464
90	12,65	40,09	159,95	-0,375	192,24	2.369	41.622
180	12,55	40,06	159,85	-1,000	193,2	2.405	44.296

Edad de las muestras [días]	Características evaluadas (valor medio de 3 muestras) para 70 % CEM II/A-LL 42.5R + 25% Pozzolánica Solena ( $\omega_2 = 0,394$ )						
	Dimensiones (altura, anchura y longitud) [mm]			Expansión longitudinal ( $\Delta L$ ) [mm/m]	Masa [g]	Densidad (D) (EN 12390-7) [kg/m <sup>3</sup> ]	Módulo elástico $E_d = D \cdot V^2 \cdot 0,83$ (EN 12504-1) [N/mm <sup>2</sup> ]
0 <sup>(1)</sup>	12,64	40,03	159,79	--	195,43	2.416	37.108
14 <sup>(1)</sup>	12,69	39,97	159,74	-0,313	195,59	2.412	38.029
28 <sup>(1)</sup>	12,70	39,96	159,72	-0,438	195,90	2.415	40.011
56 <sup>(1)</sup>	12,75	39,97	159,70	-0,563	195,97	2.405	41.503
90 <sup>(1)</sup>	12,80	39,98	159,70	-0,563	196,87	2.404	42.977
180 <sup>(1)</sup>	12,88	39,94	159,77	-0,125	198,09	2.406	44.880

<sup>(1)</sup> Una de las tres probetas se rompió durante el último periodo.

**Tabla B4.3:** Evaluación de resistencia a los sulfatos (almacenamiento de referencia a 20 °C).

<b>Solución saturada de Ca(OH)<sub>2</sub> a 5 °C (almacenamiento de referencia a 5 °C).</b>							
Edad de las muestras [días]	Características evaluadas (valor medio de 3 muestras) para CEM IV/A (V) 42.5R ( $\omega_2 = 0,45$ )						
	Dimensiones (altura, anchura y longitud) [mm]			Expansión longitudinal ( $\Delta L$ ) [mm/m]	Masa [g]	Densidad (D) (EN 12390-7) [kg/m <sup>3</sup> ]	Módulo elástico $E_d = D \cdot V^2 \cdot 0,83$ (EN 12504-1) [N/mm <sup>2</sup> ]
0	13,04	39,72	159,72	--	198,89	2.401	36.381
14	13,05	39,75	159,60	-0,751	199,10	2.405	36.972
28	13,03	39,88	159,51	-1,315	199,53	2.406	37.677
56	12,95	39,80	159,52	-1,252	200,39	2.439	41.744
90	12,93	39,77	159,55	-1,064	200,65	2.447	42.602
180 <sup>(1)</sup>	12,85	39,82	159,52	-1,252	199,82	2.451	44.003
<sup>(1)</sup> Una de las tres probetas se rompió durante el último periodo.							
Edad de las muestras [días]	Características evaluadas (valor medio de 3 muestras) para 70 % CEM II/A-LL 42.5R + 25% Pozzolánica Solena ( $\omega_2 = 0,394$ )						
	Dimensiones (altura, anchura y longitud) [mm]			Expansión longitudinal ( $\Delta L$ ) [mm/m]	Masa [g]	Densidad (D) (EN 12390-7) [kg/m <sup>3</sup> ]	Módulo elástico $E_d = D \cdot V^2 \cdot 0,83$ (EN 12504-1) [N/mm <sup>2</sup> ]
0	11,11	39,92	159,69	--	170,25	2.402	36.306
14	11,22	39,85	159,59	-0,626	171,45	2.399	37.045
28	11,33	39,89	159,62	-0,438	172,26	2.385	37.640
56	11,29	39,91	159,68	-0,063	172,19	2.394	40.618
90	11,20	39,87	159,71	0,125	173,50	2.432	43.423
180	11,27	39,96	159,77	0,501	175,26	2.434	45.143

**Tabla B4.4:** Evaluación de resistencia a los sulfatos (almacenamiento de referencia a 5 °C).