



MASTER®
» BUILDERS
SOLUTIONS

Cemento + Aditivo = Hormigón

Tecnología de nuevos hormigones con
cementos ternarios y con adición Q

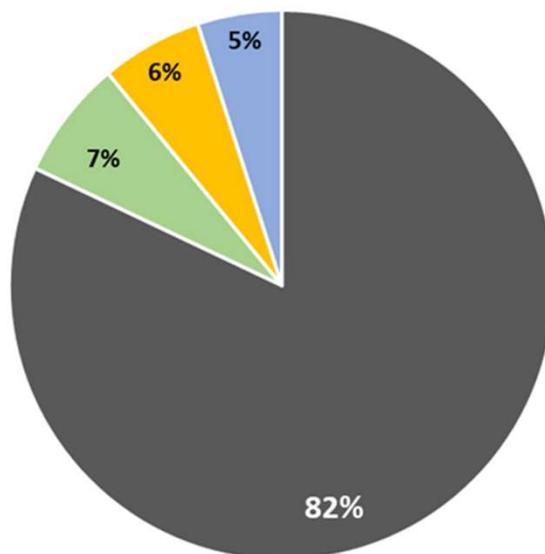
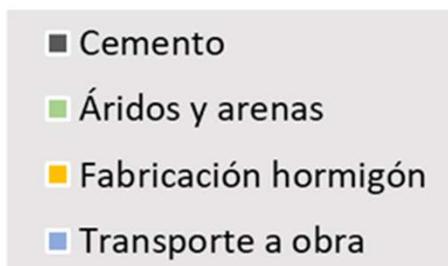
Master Builders Solutions
Pere Borralleras
Febrero 2023



El camino para descarbonizar la construcción con estructuras de hormigón empieza con el cemento

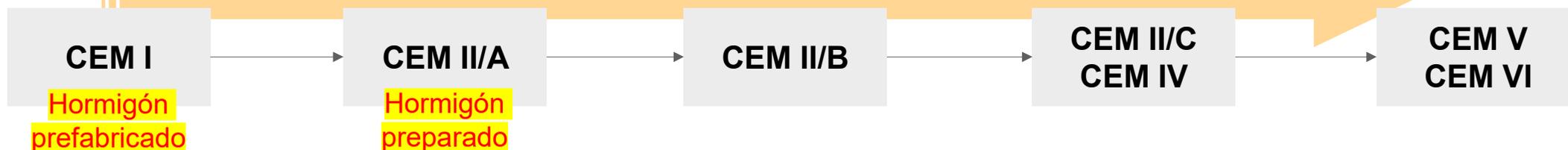
Impacto ambiental del hormigón

En emisiones de CO₂

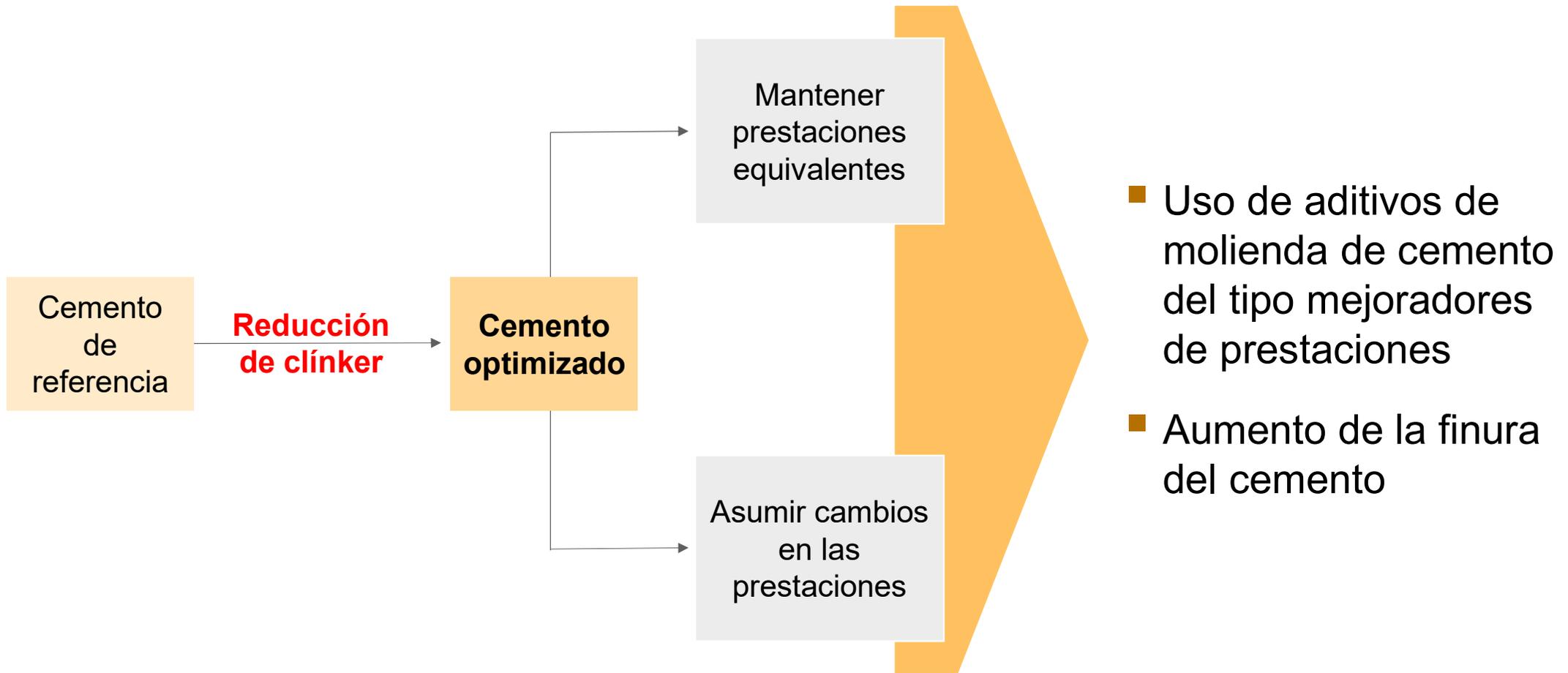


Más del 80% de las emisiones de CO₂ asociadas al hormigón provienen del cemento

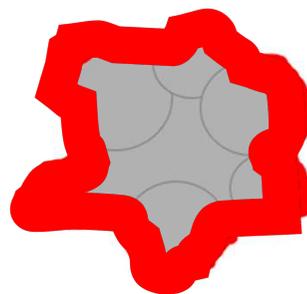
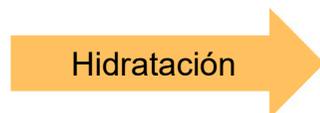
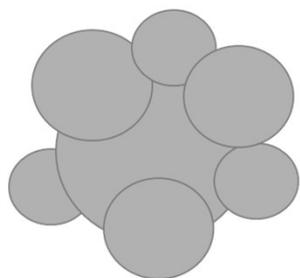
Menor contenido de clínker (K) = Reducción de la huella de CO₂



Cementos más sostenibles para la producción de hormigón

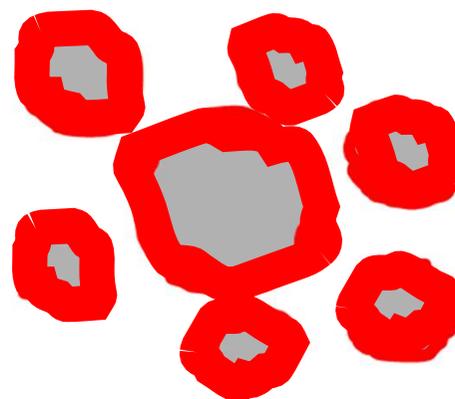
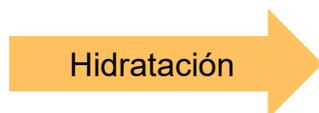
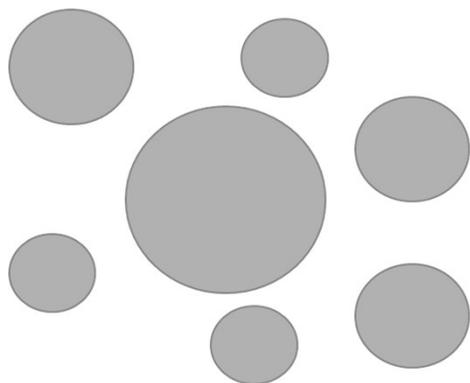


Contribución de los aditivos de molienda de cemento



Rendimiento de hidratación limitado
que genera menores resistencias
mecánicas

Partículas de cemento anhidro floculadas
(situación **SIN** aditivo de molienda)



**Incremento del
rendimiento de hidratación**
que aumenta el desarrollo
de resistencias mecánicas

Partículas de cemento anhidro dispersadas
(situación **CON** aditivo de molienda)

Mayor superficie específica
accessible que **potencia el
efecto del aditivo mejorador
de prestaciones del cemento**

El sector del hormigón es consciente de la necesidad de reemplazar los cementos actuales por cementos más sostenibles

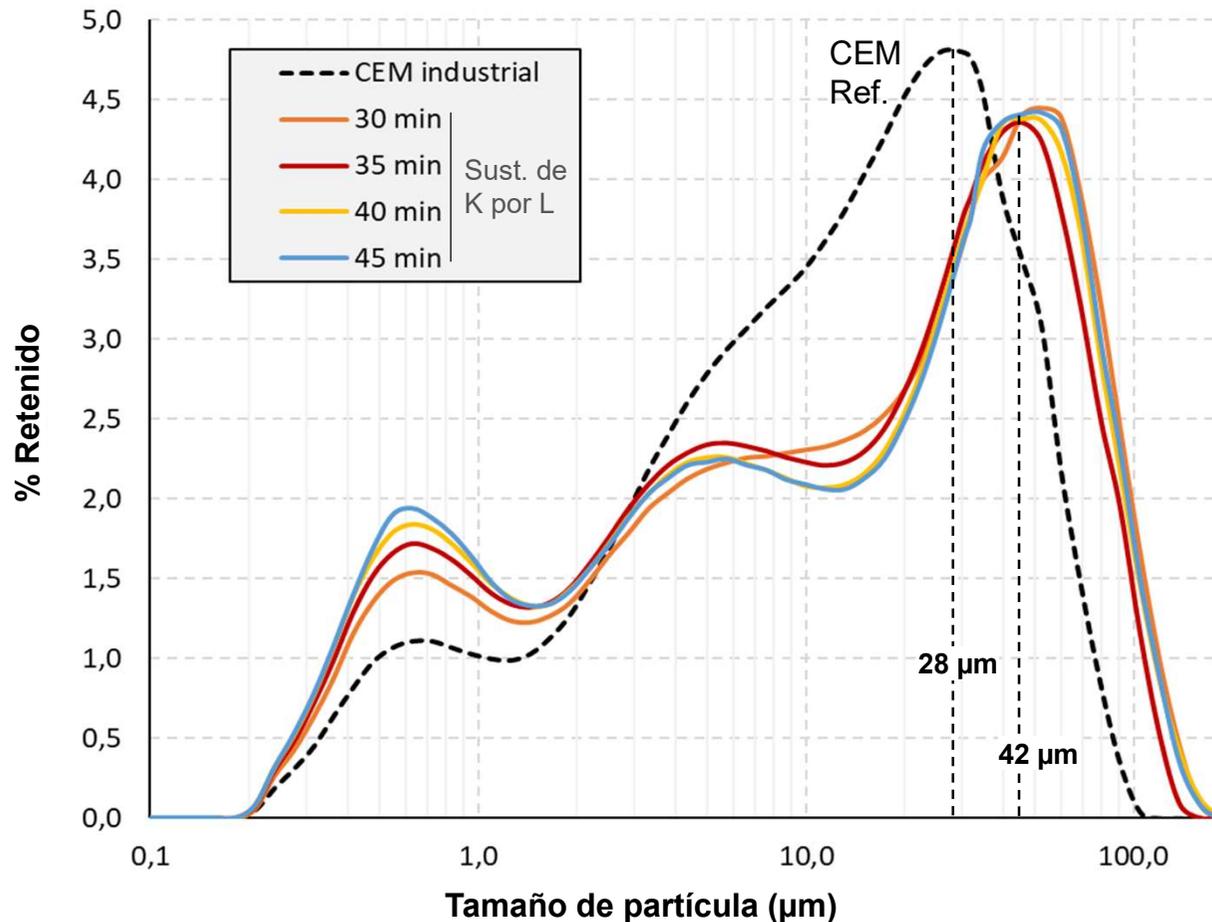
Retos a resolver
al reemplazar los
cementos actuales por
cementos con menor
huella de CO₂

- Demanda de agua y mantenimiento de la consistencia en el tiempo
- Control de la reología del hormigón fresco
- Resistencias a 24 horas (especialmente en invierno)

Por más que se ajuste el diseño del nuevo cemento, siempre será necesario aplicar correcciones en la planta de hormigón, aunque sean menores

Sustitución de clinker (K) por caliza (L, LL)

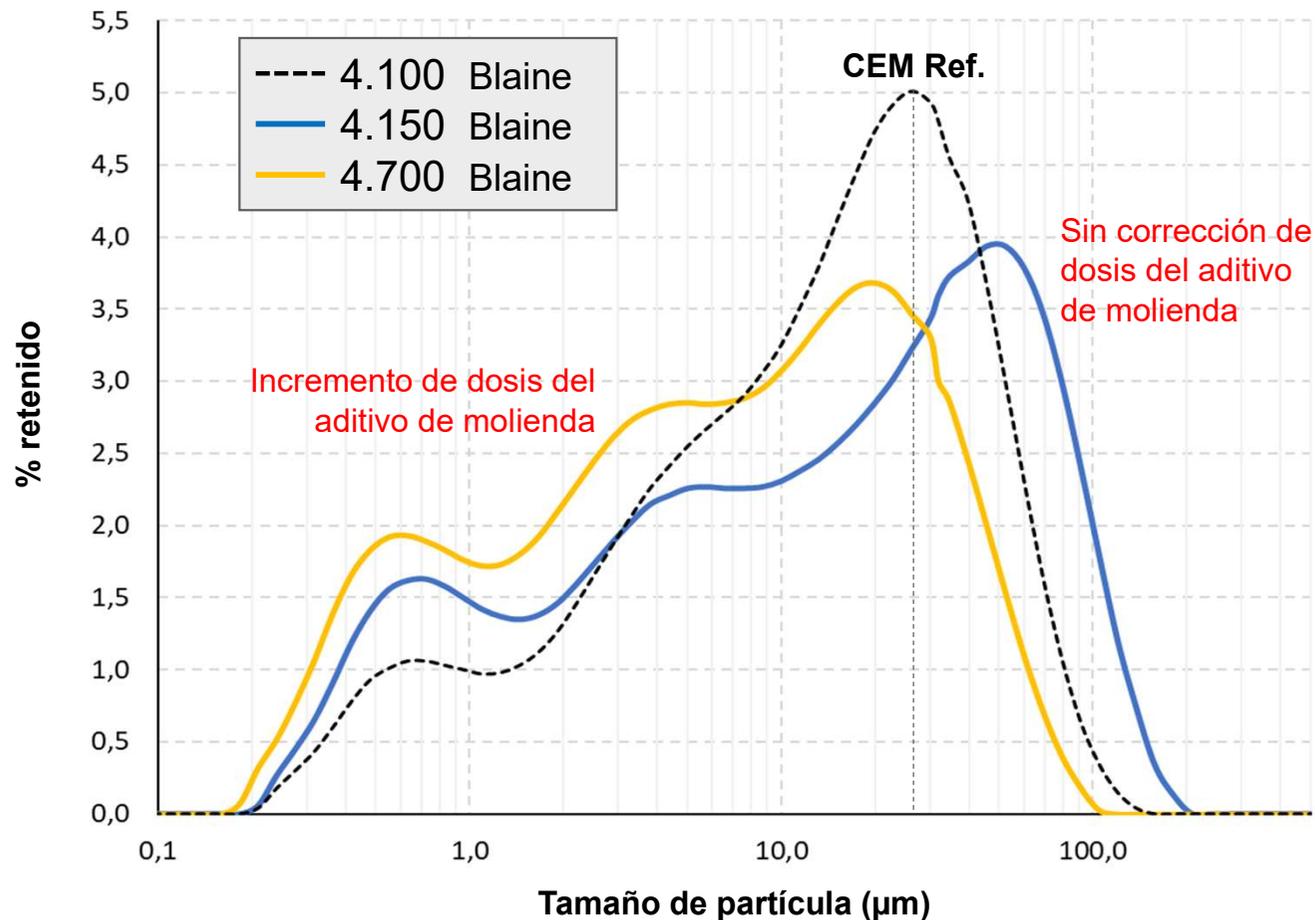
Granulometría láser (Malvern)



**Blaine equivalente
pero
clinker (K) más grueso**

- Pérdida de resistencias mecánicas finales y sobretodo iniciales (especialmente en invierno)
- Incremento de la demanda de agua
- Aumento de la viscosidad plástica

Sustitución de clinker (K) por caliza (L, LL) – corrección de finura



■ Correcciones en hormigón:

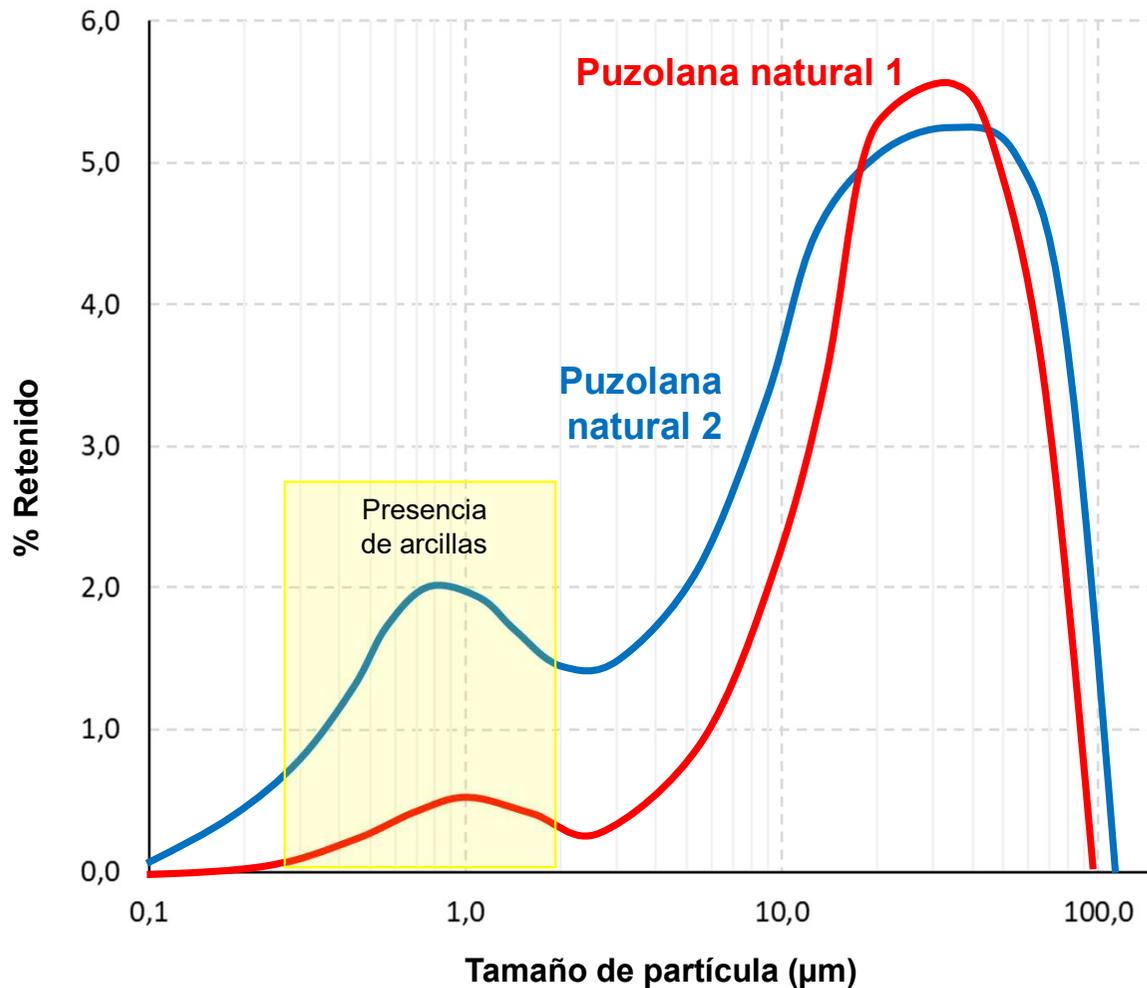
- Ajuste del contenido de agua (reducción de la relación a/c)
- Corrección de dosificación de aditivo superplastificante

Corrección del aumento de viscosidad plástica del hormigón con el empleo de **aditivos superplastificantes especiales con control de reología**

Nivel de sustitución de K limitado por la calidad de las calizas (L)

	Caliza A	Caliza B	Caliza C	Caliza D	Caliza E
CaCO ₃ – Calcita	95,9	91,6	96,6	93,8	95,1
CaMg(CO ₃) ₂ – Dolomita	-	-	1,7	-	1,7
Feldespato	-	-	-	1,6	-
SiO ₂ – Cuarzo	2,9	5,5	0,3	3,5	2,2
Caolín	1,1	2,8	0,3	0,9	0,4
Mica	0,1	0,2	0,2	0,2	2,8
Clorita	-	-	-	0,2	2,7
Superficie específica BET < 36µm (m²/g)	4.273	9.912	3.520	5.701	10.482

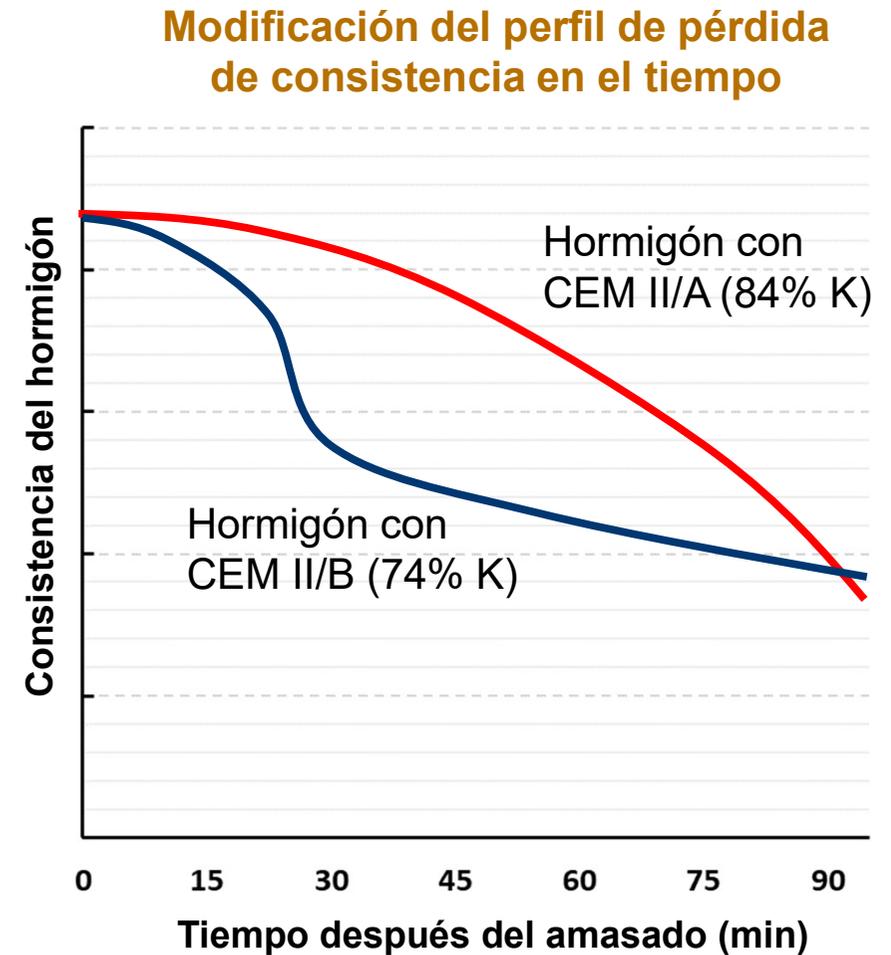
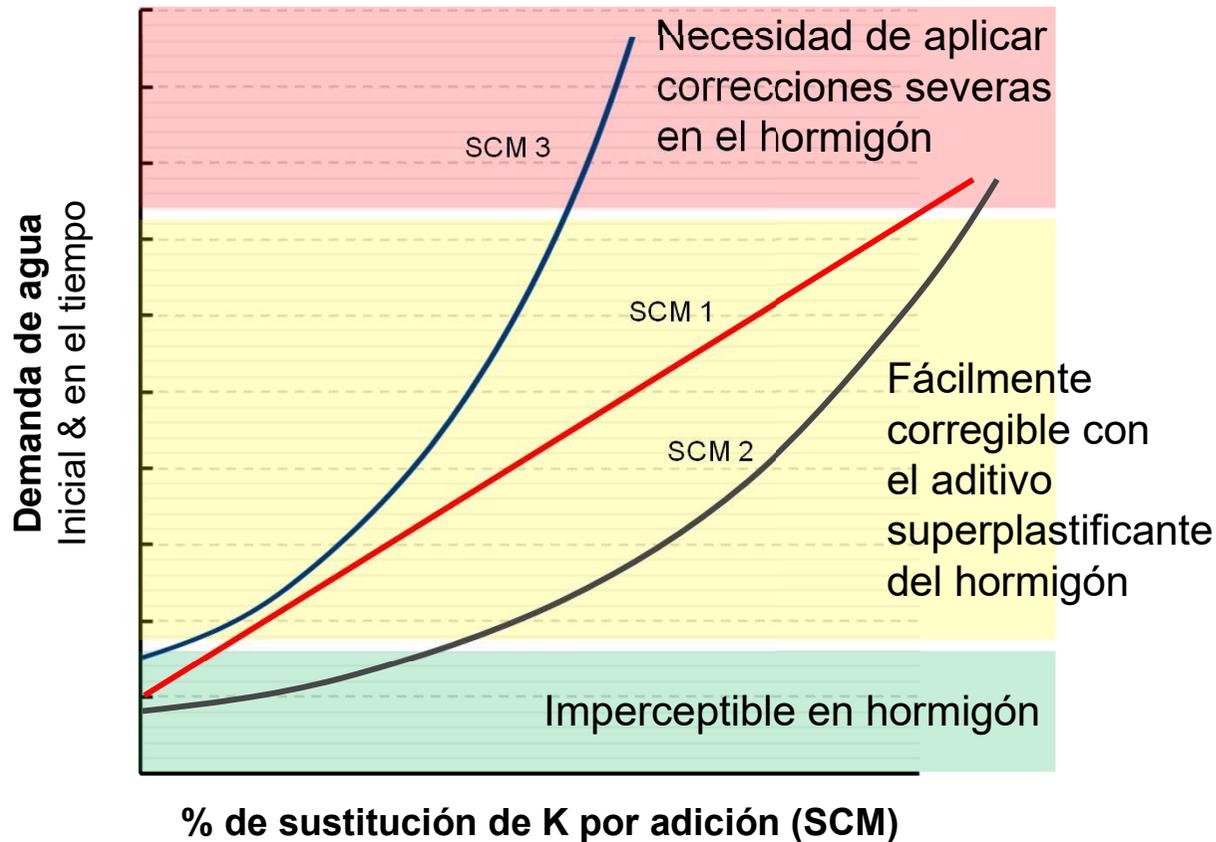
Sustitución de clinker (K) por puzolanas naturales (P)



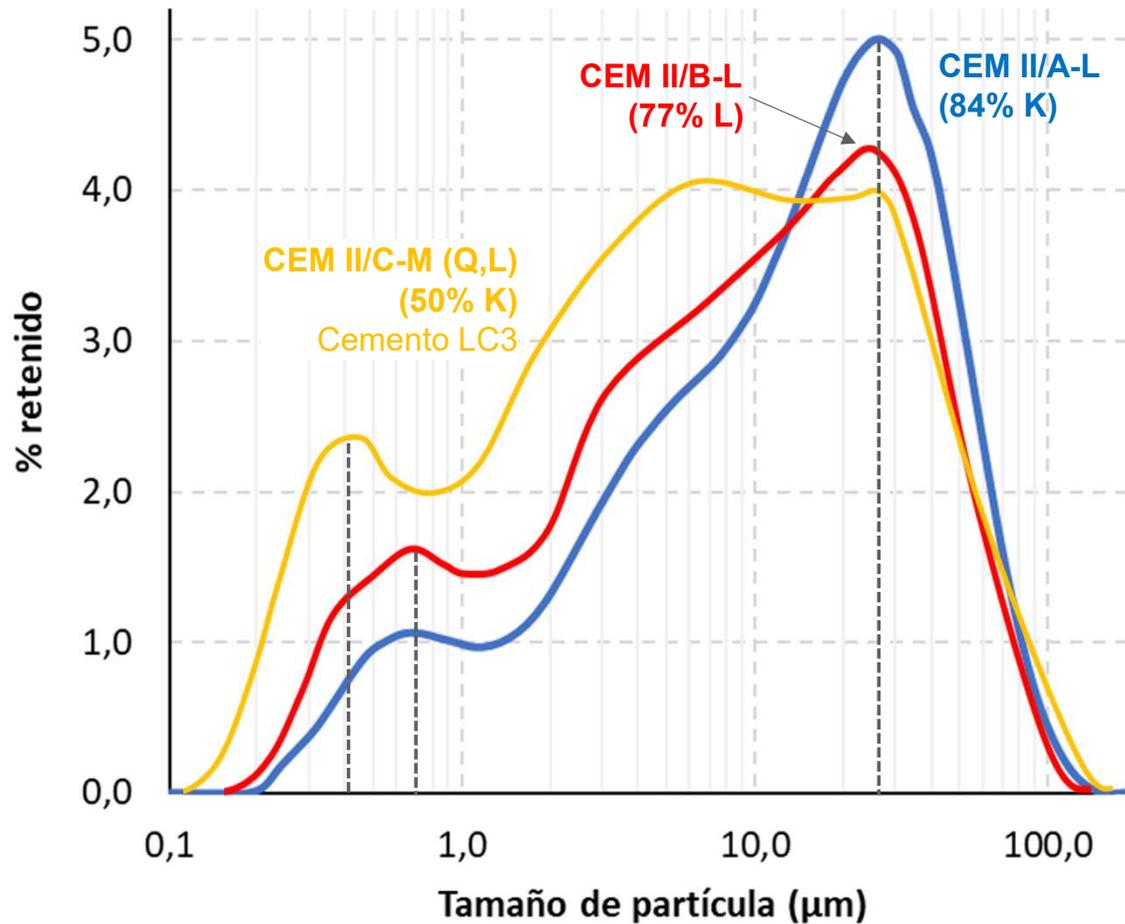
■ El contenido de arcillas en las puzolanas naturales es el factor más restrictivo

- Frecuentemente contienen arcillas del tipo expansivo (esmectitas):
 - Máxima demanda de agua
 - Interfieren en el rendimiento del aditivo superplastificante del hormigón
- Promueven la pérdida de consistencia prematura e incrementan la viscosidad plástica del hormigón fresco

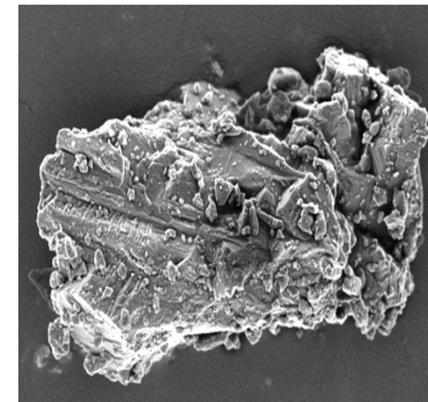
Impacto del incremento de la demanda de agua en el hormigón



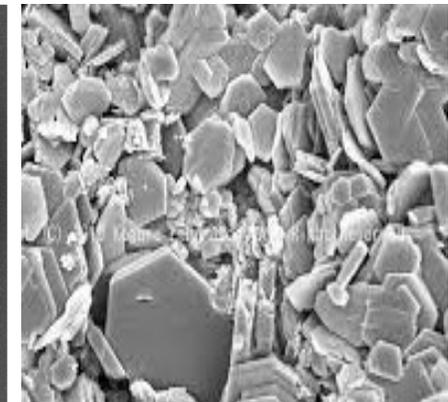
Hormigón con cemento con adición Q (arcilla calcinada) – LC3



Cemento	Blaine
CEM II/A-L	3.900
CEM II/B-L	4.500
CEM II/C-M (Q-L)	8.300



Caliza
(SEM - 1µm)

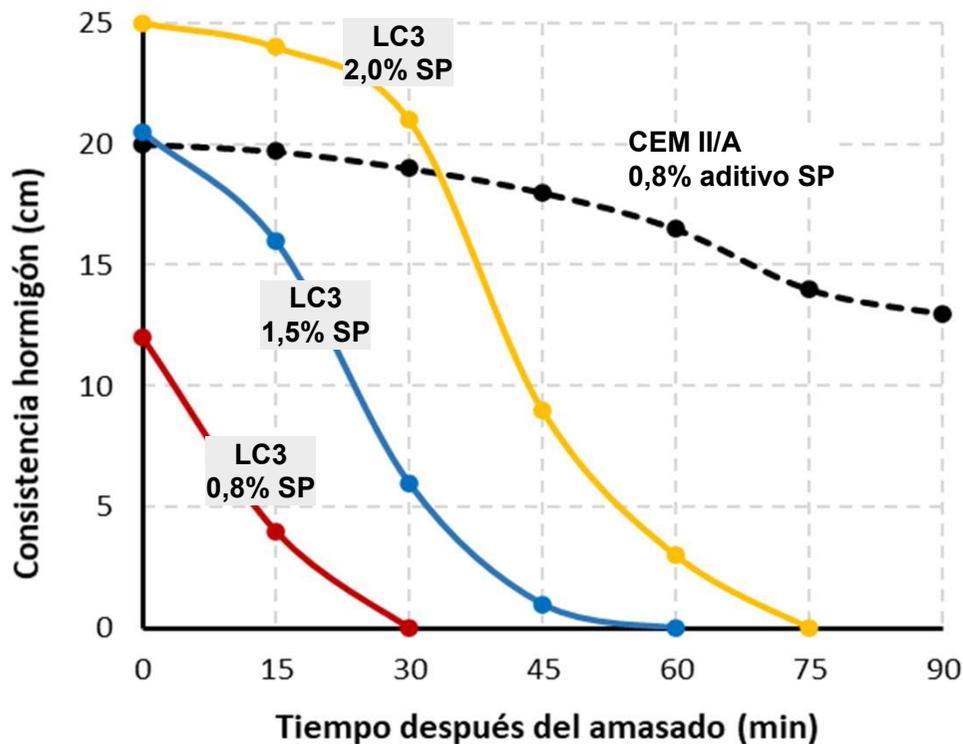


Arcilla calcinada
(SEM - 1µm)

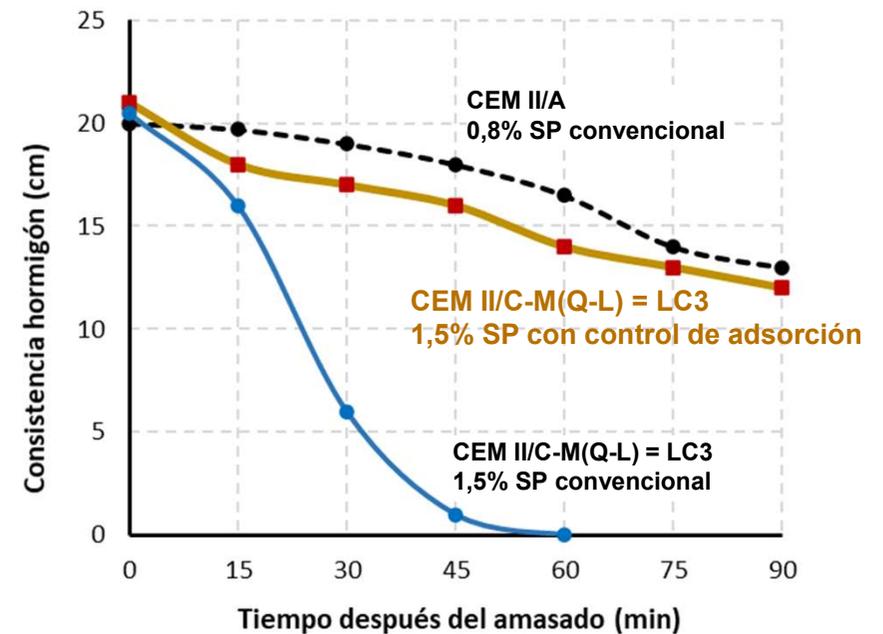
Hormigón con cemento con adición Q (arcilla calcinada) – LC3

■ Muy alta demanda de agua y de aditivo

- Elevadas dosificaciones de aditivo superplastificante
- Pérdida prematura de la consistencia del hormigón



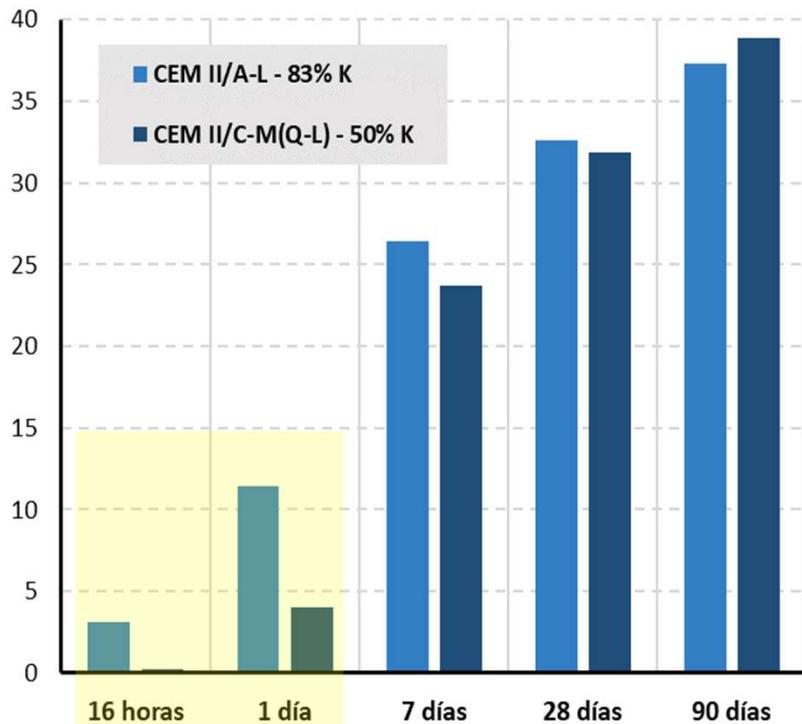
Corrección de la demanda de agua con aditivos superplastificantes con control de adsorción



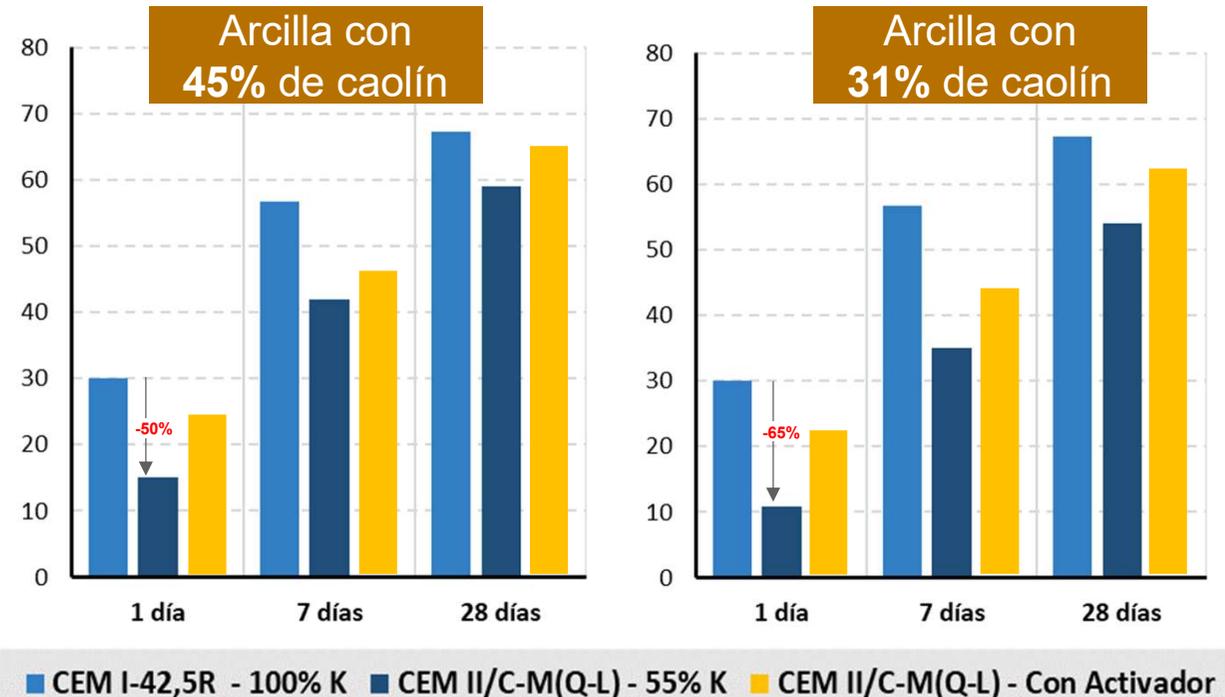
Hormigón con cemento con adición Q (arcilla calcinada) – LC3

■ Reactividad más lenta que el clinker

- Menores resistencias iniciales

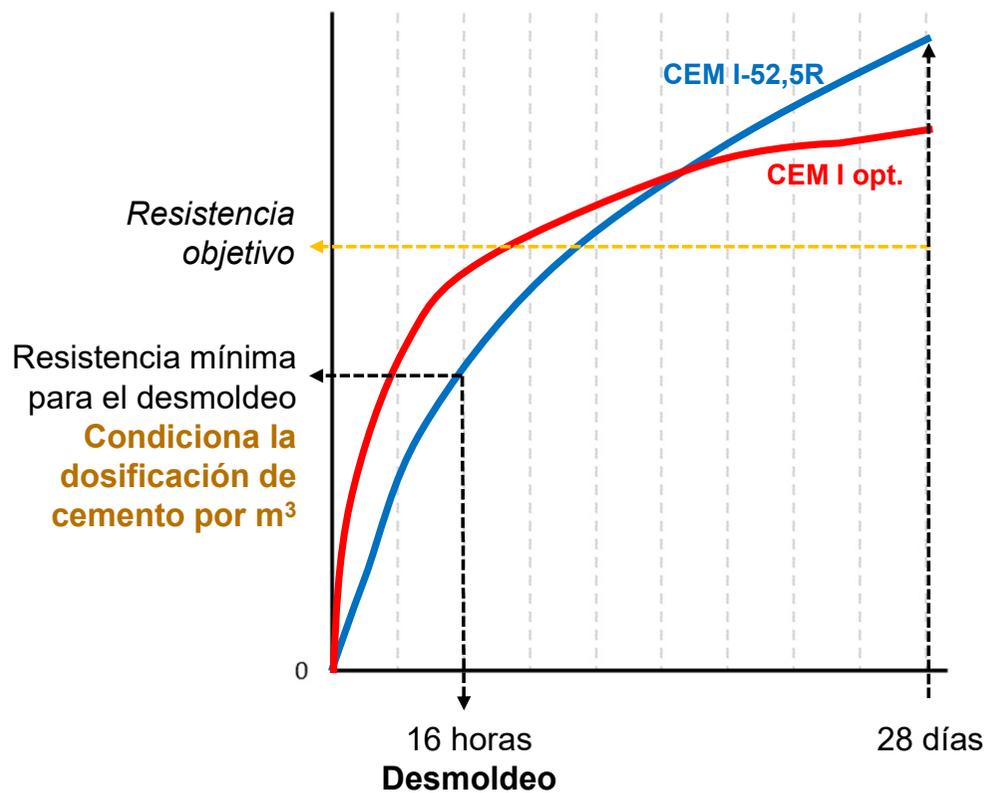


Desarrollo de aditivos activadores para acelerar la hidratación del cemento LC3

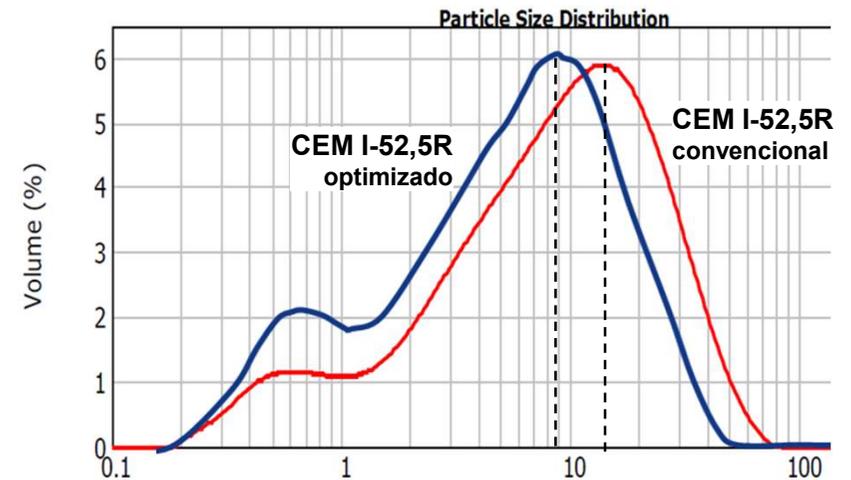


Descarbonización en el sector del prefabricado

Gestión de las resistencias mecánicas en el sector del prefabricado

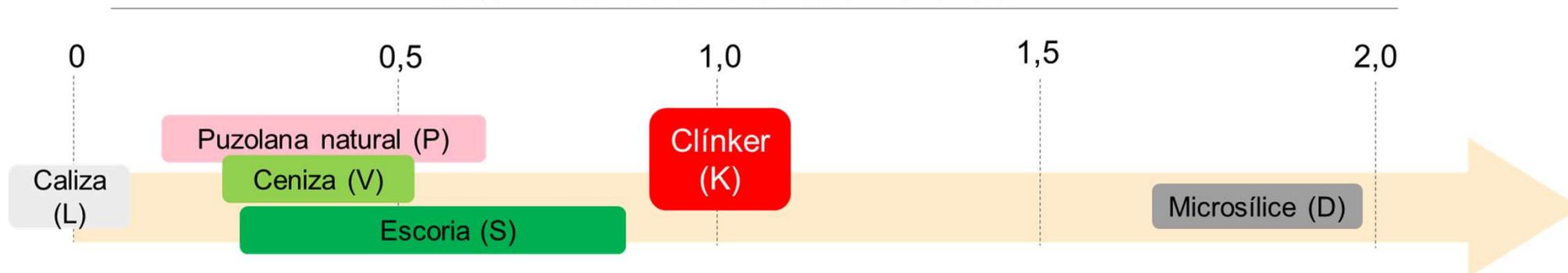


	CEM I-52,5R convencional	CEM I-52,5R optimizado
D ₁₀ (µm)	1,1 – 1,3	0,8 – 1,0
D ₅₀ (µm)	8,0 – 10,5	5,0 – 7,5
D ₉₀ (µm)	22 – 35	17 – 20
% partículas <32µm	5 – 8%	1,5 – 2,5%
% partículas <2,5µm	77 – 85%	70 – 80%
Superficie específica (cm ² /g) (Malvern)	6.500 – 7.500	8.000 – 9.500

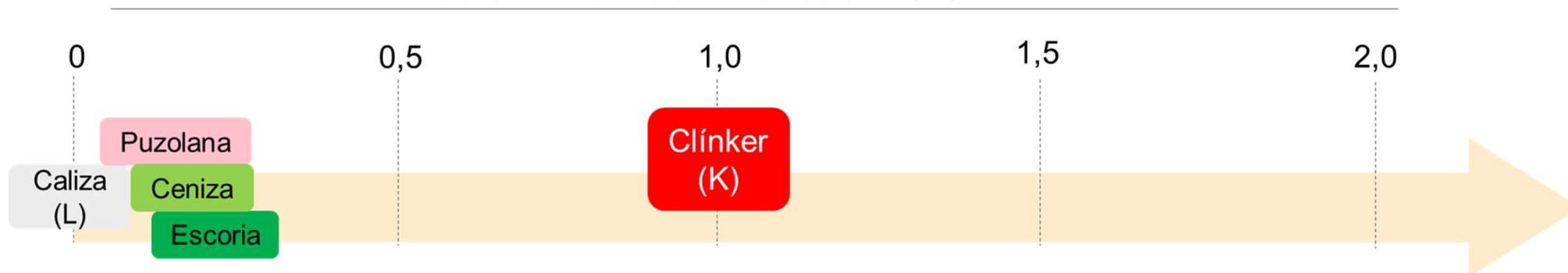


Sustitución de clinker por adiciones activas (S, P, V)

Factor K de las adiciones a 28 días



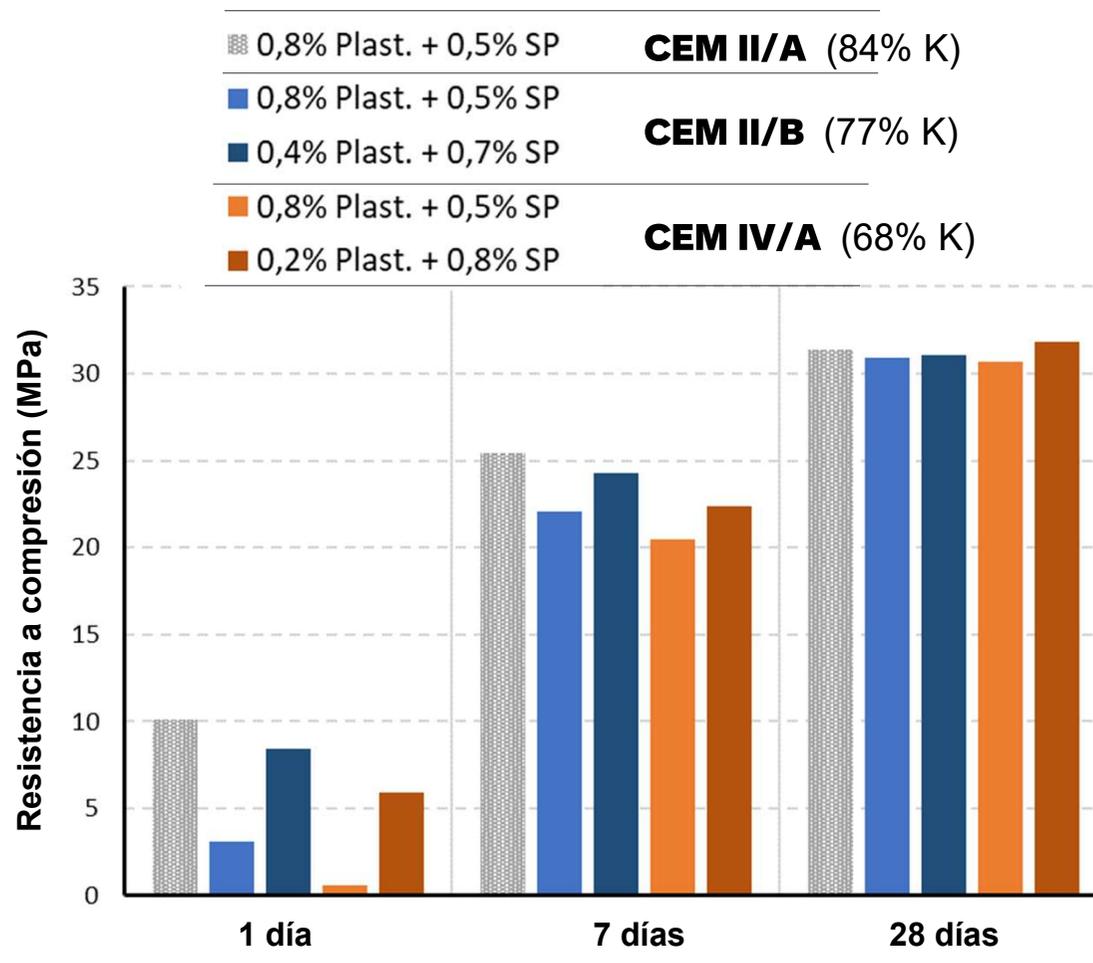
Factor K de las adiciones a 1 día



Las limitaciones de resistencias inicial son más fácilmente corregibles en el hormigón que en el propio cemento

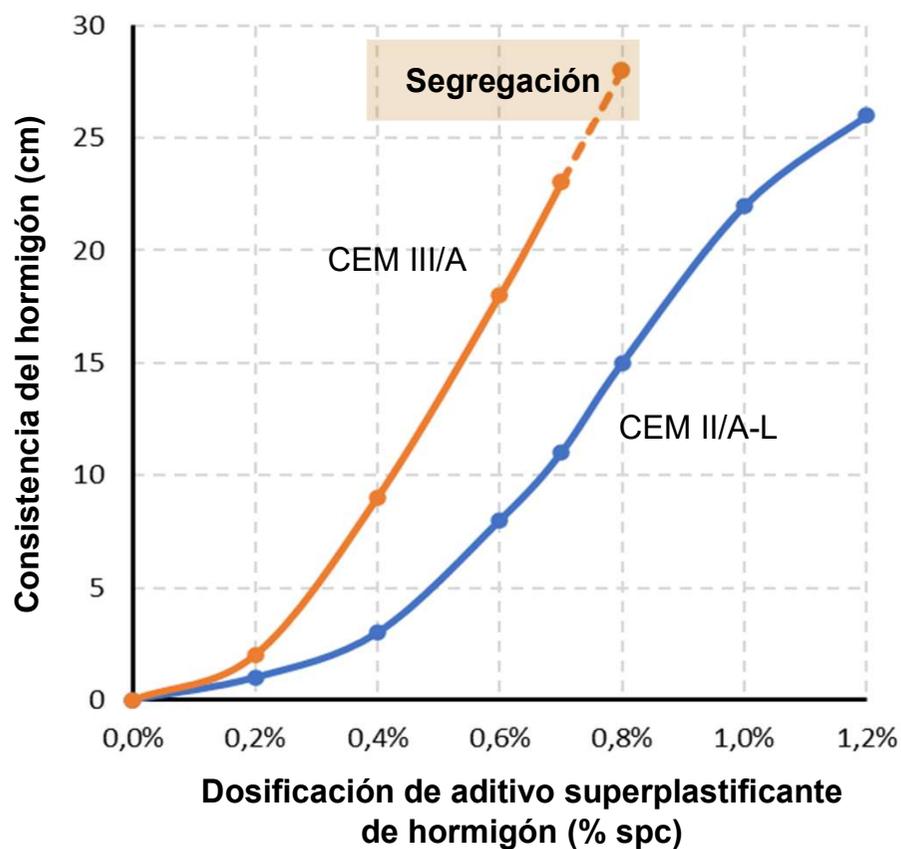
Composición típica de aditivos en hormigón C25/S3 con CEM II/A

- **Plastificante a 0,8% spc**
Controla el mantenimiento de consistencia en el tiempo
- **Superplastificante a 0,5% spc**
Controla la consistencia inicial del hormigón

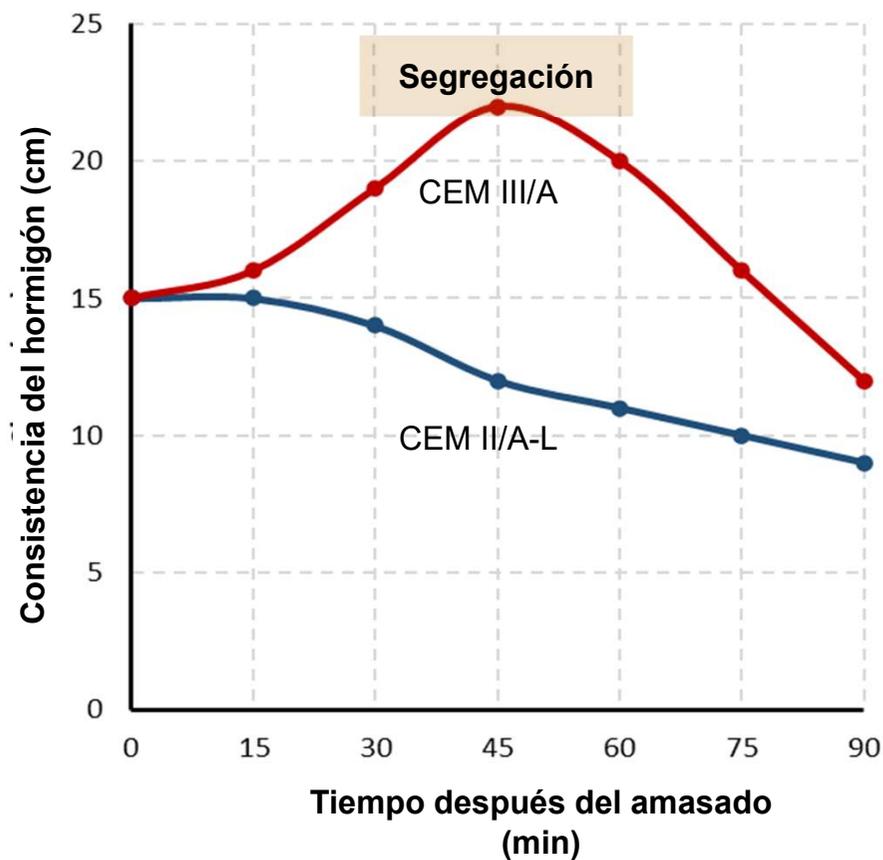


Sustitución de clinker (K) por escorias (S)

Pérdida de robustez en el control de la consistencia inicial del hormigón



Riesgo de re-fluidificación que promueve la segregación tardía del hormigón

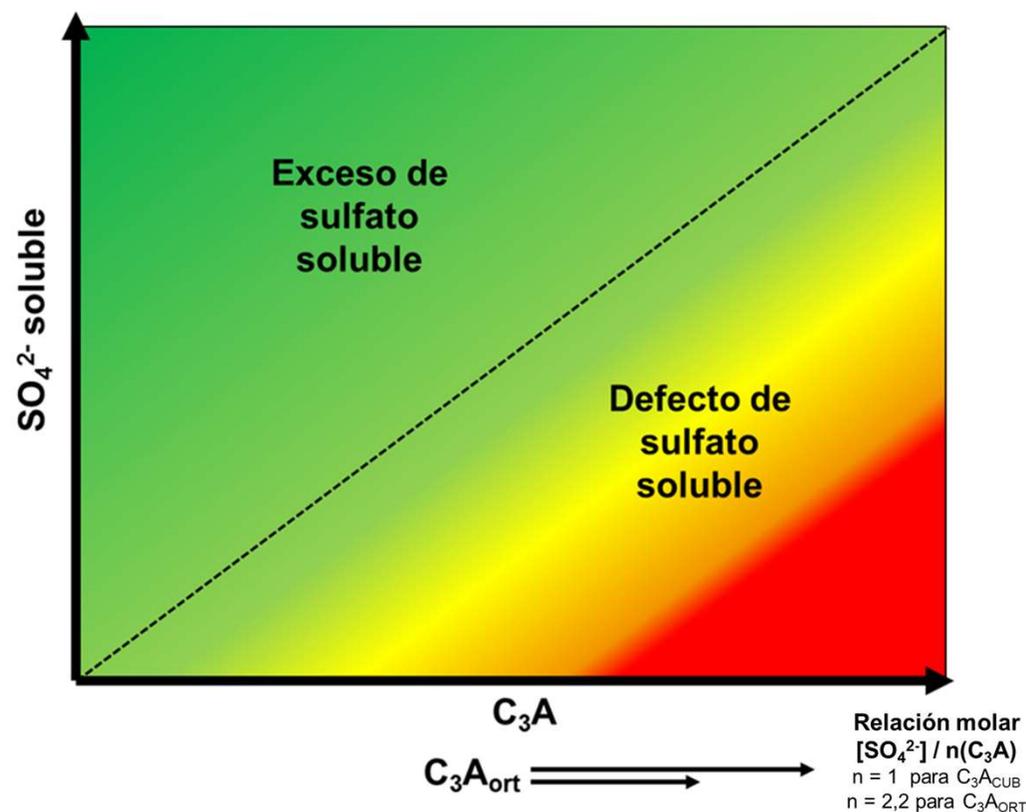


La solubilidad de los sulfatos es clave para la adecuada compatibilidad entre el cemento y el aditivo superplastificante

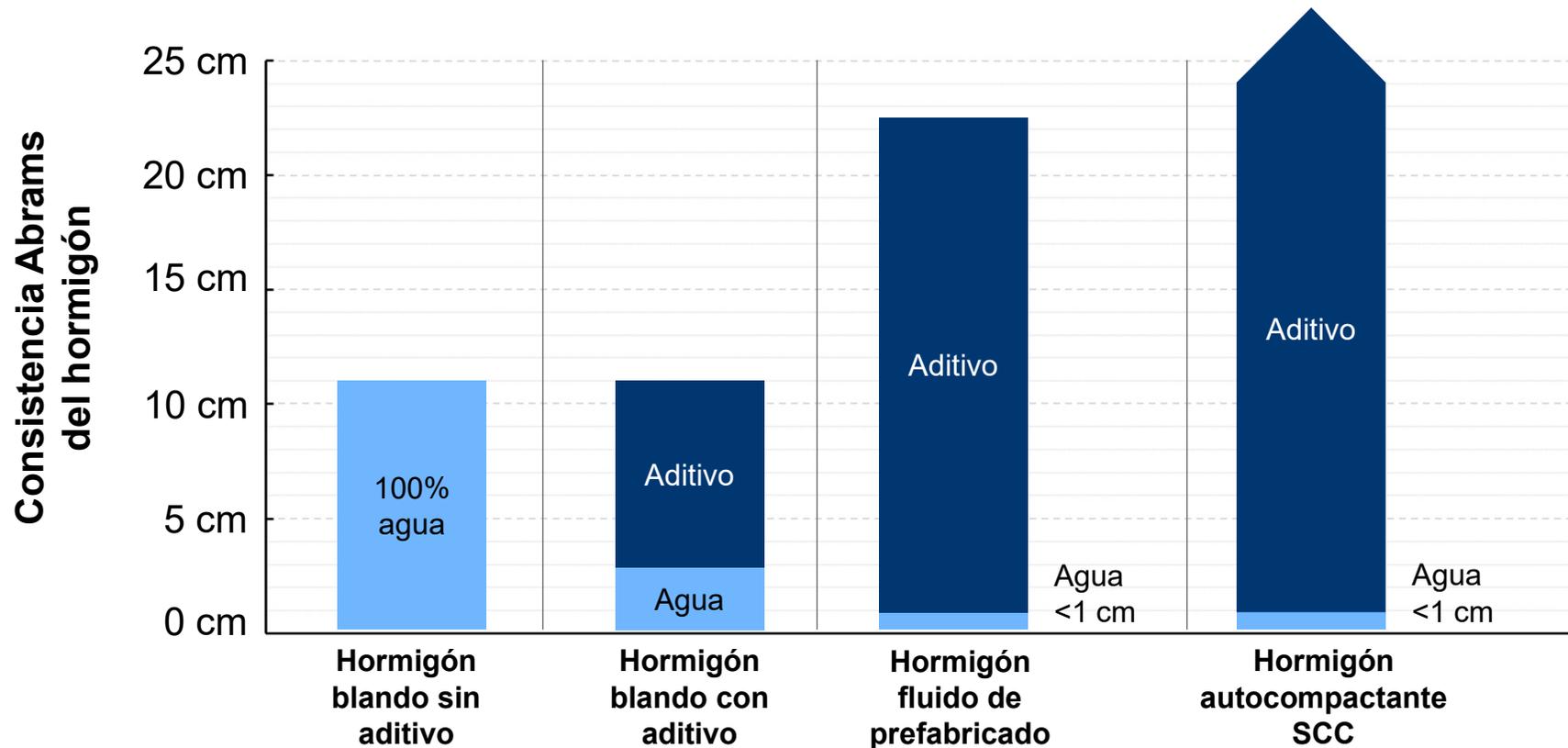


Solubilidad fases de SO ₃ (25 °C)		Equivalentes de SO ₃
Di-hidrato CaSO ₄ ·H ₂ O	2,1 gr/l	47%
Anhidrita CaSO ₄	2,3 gr/l	59%
Hemi-hidrato CaSO ₄ ·0,5H ₂ O	6,6 gr/l	55%
Thernardita Na ₂ SO ₄	70 gr/l	56%
Arcanita K ₂ SO ₄	120 gr/l	46%

Mapa de compatibilidad cemento-aditivo en función de la relación [SO₄²⁻]/C₃A



En la actualidad, el 99,9% de los hormigones estructurales se fabrican con aditivo reductor de agua



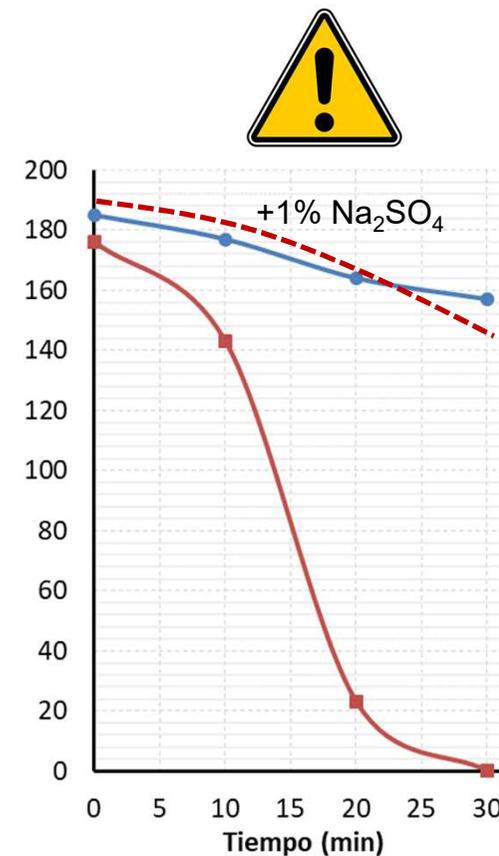
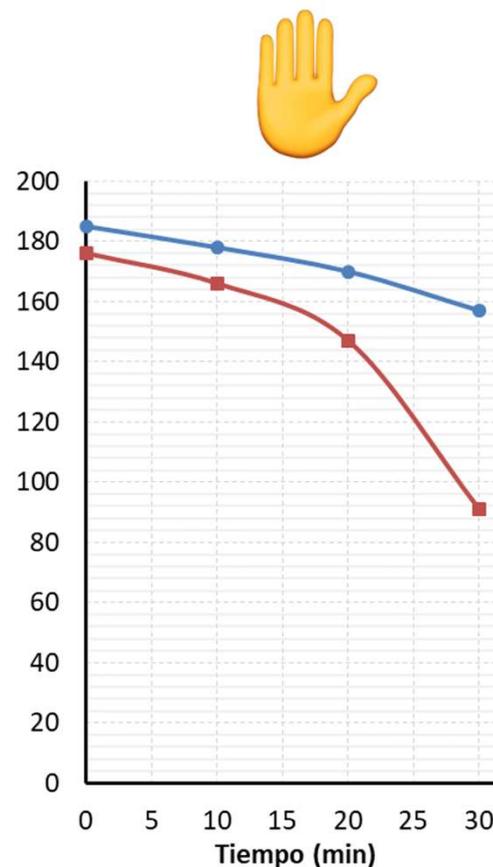
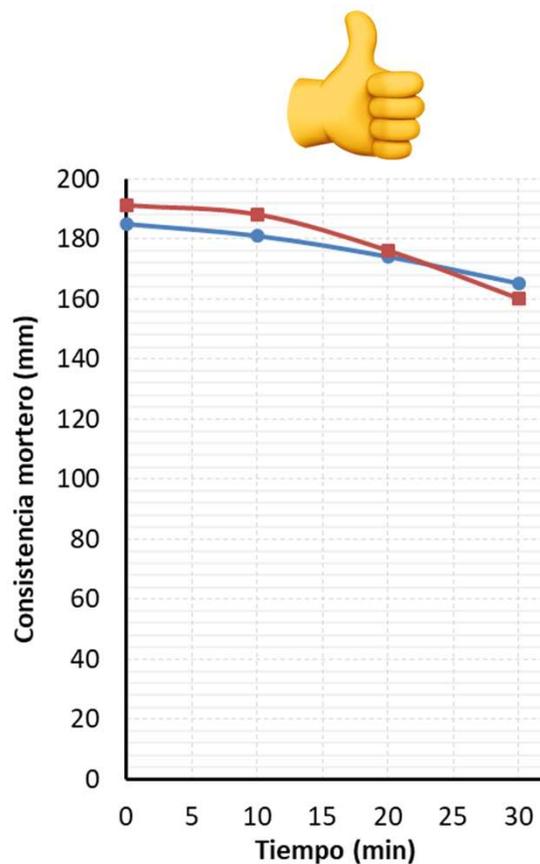
Ensayos de control de cemento con aditivo superplastificante

Normalized mortar (without admixture)	
Cement	450
EN sand	1350
Water	225 (w/c 0,5)

Medición de la consistencia con el método EN normalizado (con sacudidas)

Equivalent mortar (with admixture)	
Cement	450
EN sand	1350
Water	180 (w/c 0,4)
Admixture	1% bwc

Medición de la consistencia sin aplicar sacudidas (free-flow)



● Mortero sin aditivo superplastificante
 ■ Mortero con aditivo superplastificante

MASTER[®]
» BUILDERS
SOLUTIONS