

V Jornadas FICAL

Fórum Ibérico da Cal

Portugal | Lisboa | LNEC | 23-25 | maio | 2016



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL



FICAL
Forum Ibérico de la Cal



Hormigones de cal: Adherencia a las armaduras

Rosell, J.R.

De la Rosa, G.

Ramírez-Casas, J.



Escola Politècnica Superior
d'Edificació de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

PUNTO DE PARTIDA DE LA INVESTIGACIÓN



Casa Puig i Cadafalch, Argentona



Escola Politècnica Superior
d'Edificació de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA



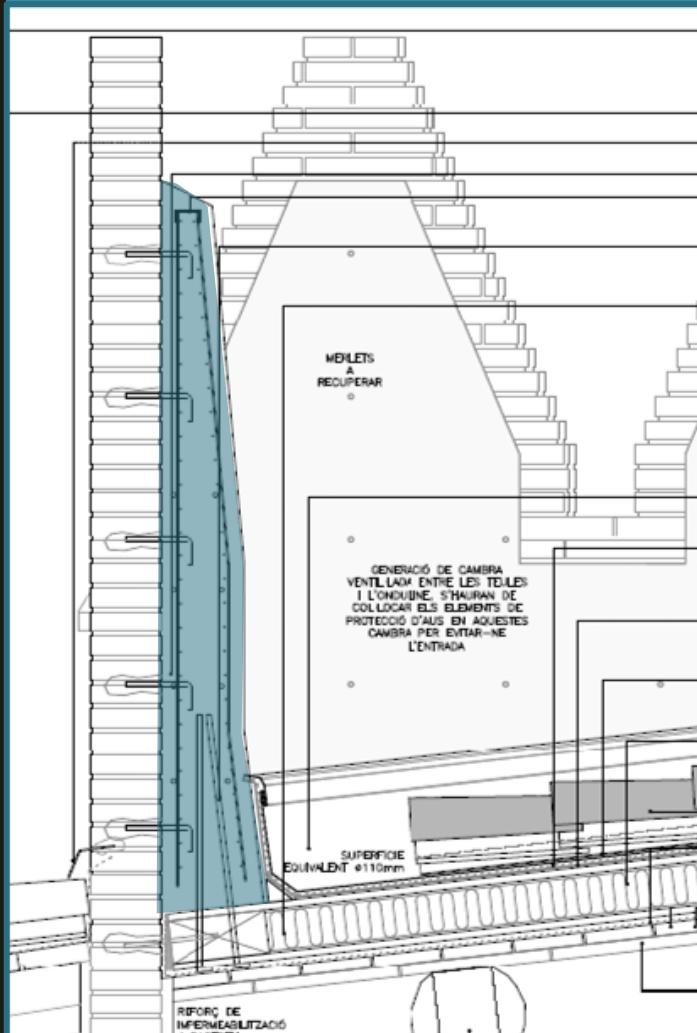
LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL



Forum Ibérico de la Cal

PUNTO DE PARTIDA DE LA INVESTIGACIÓN

PROPIUESTA DE RESTAURACIÓN



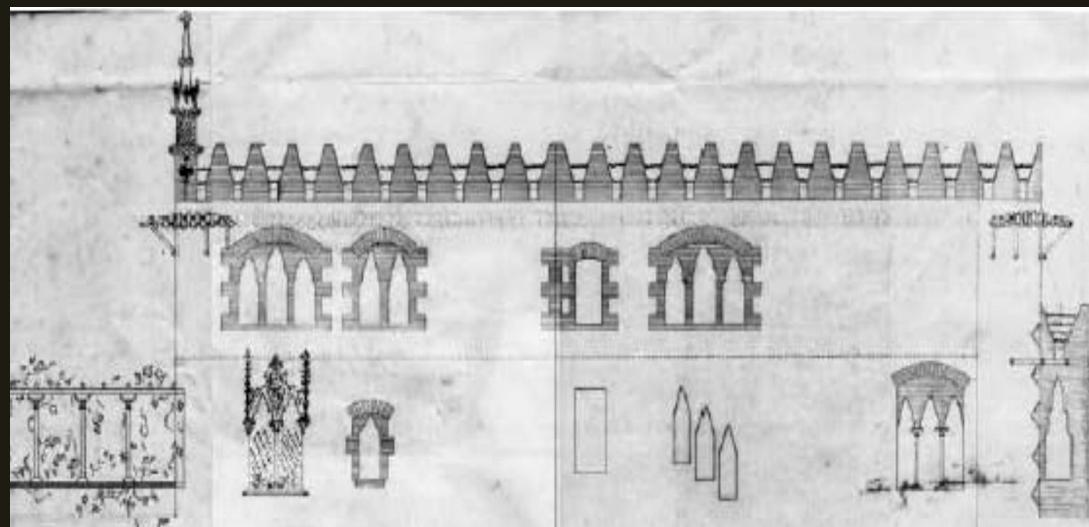
Fuente: Zazurca, 2014

Propuesta

Elemento a base de cal hidráulica adherida al muro de las almenas y anclada con barras de armado tanto en el muro existente como en la cubierta.

Opciones para su ejecución

- Proyección de mortero de cal hidráulica
- Vaciado de hormigón a base de cal hidráulica



Fuente: Zazurca, 2014

Efecto del CO₂

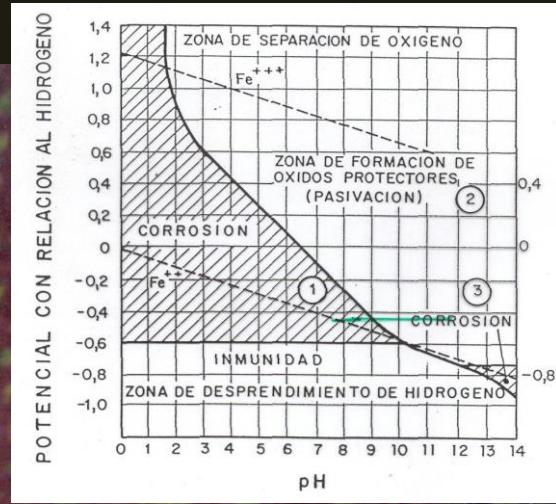
pH > 9 (12)

Frente de carbonatación

pH < 9

Zona pasivada

Zona despasivada



MATERIALES

Mortero de cal hidráulica eco-puzolana

- Mortero premezclado en polvo “Mape-Antique Strutturale NHL” de la casa MAPEI.
- Compuesto de cal hidráulica natural (NHL) y eco-puzolana, arenas naturales, sílice amorfa, microfibras de poliacrilato sintéticos y fibra de vidrio.

Hormigón a base de cal hidráulica eco-puzolana

- A base de mortero premezclado en polvo “Mape-Antique Colabile” de la casa MAPEI y agregados de machaqueo de origen calizo de 4 a 12mm.
- El mortero usado está compuesto de cal hidráulica natural (NHL) y eco-puzolana, sílice amorfa y microfibras de poliacrilato sintéticos

Refuerzo

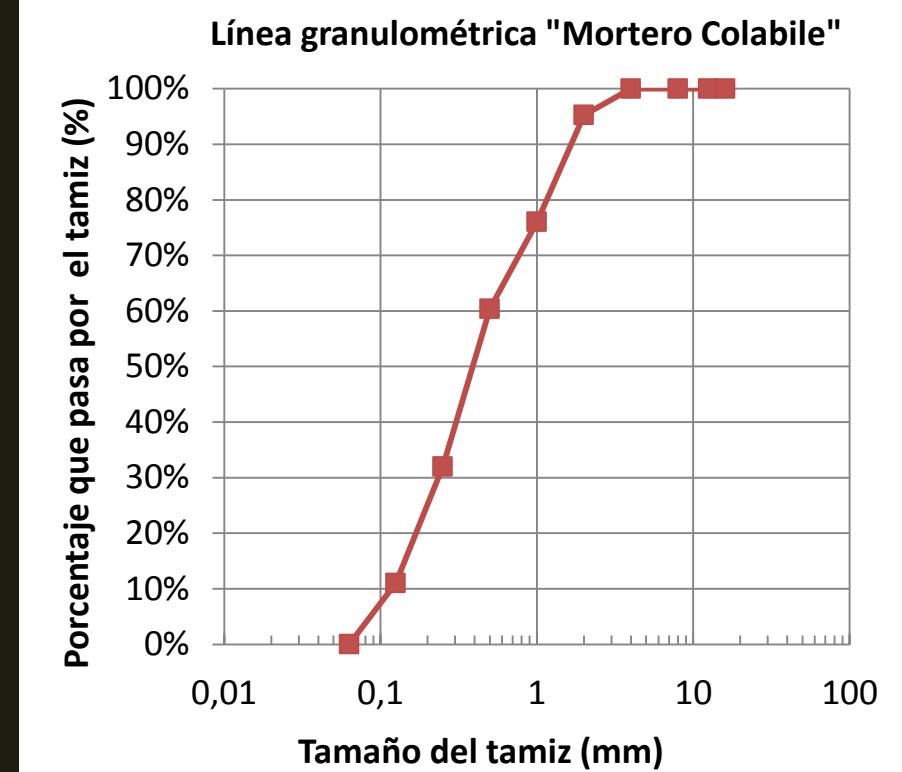
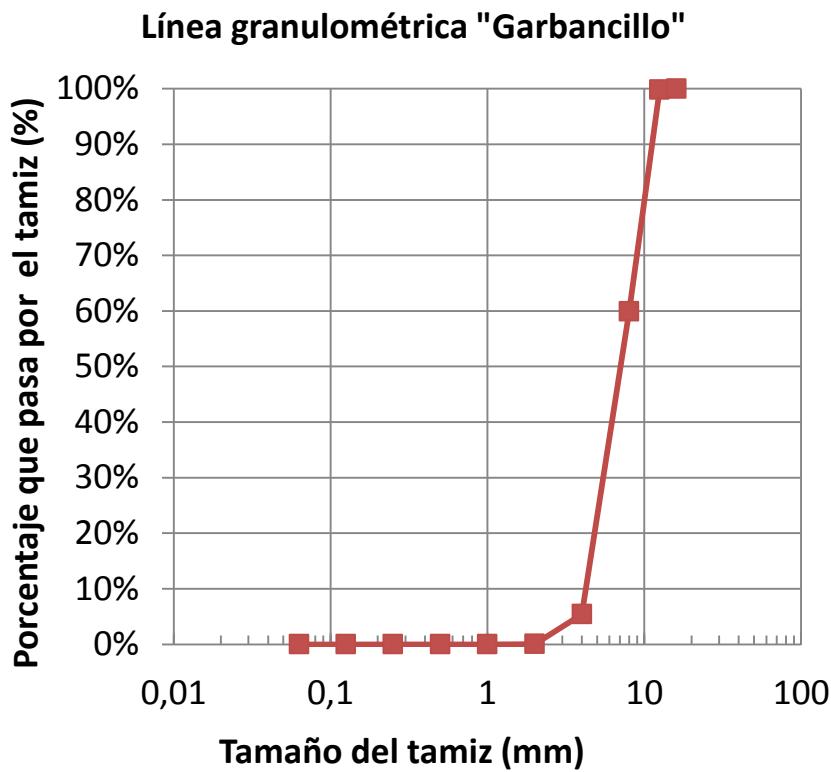
Barras de fibra de vidrio lisas “Maperod G ” con un módulo elástico de 40.800 N/mm^2 y resistencia a tracción de 760 N/mm^2

Barras de acero inoxidable corrugadas con un módulo elástico de 193.000 N/mm^2 y resistencia a tracción de 750 N/mm^2

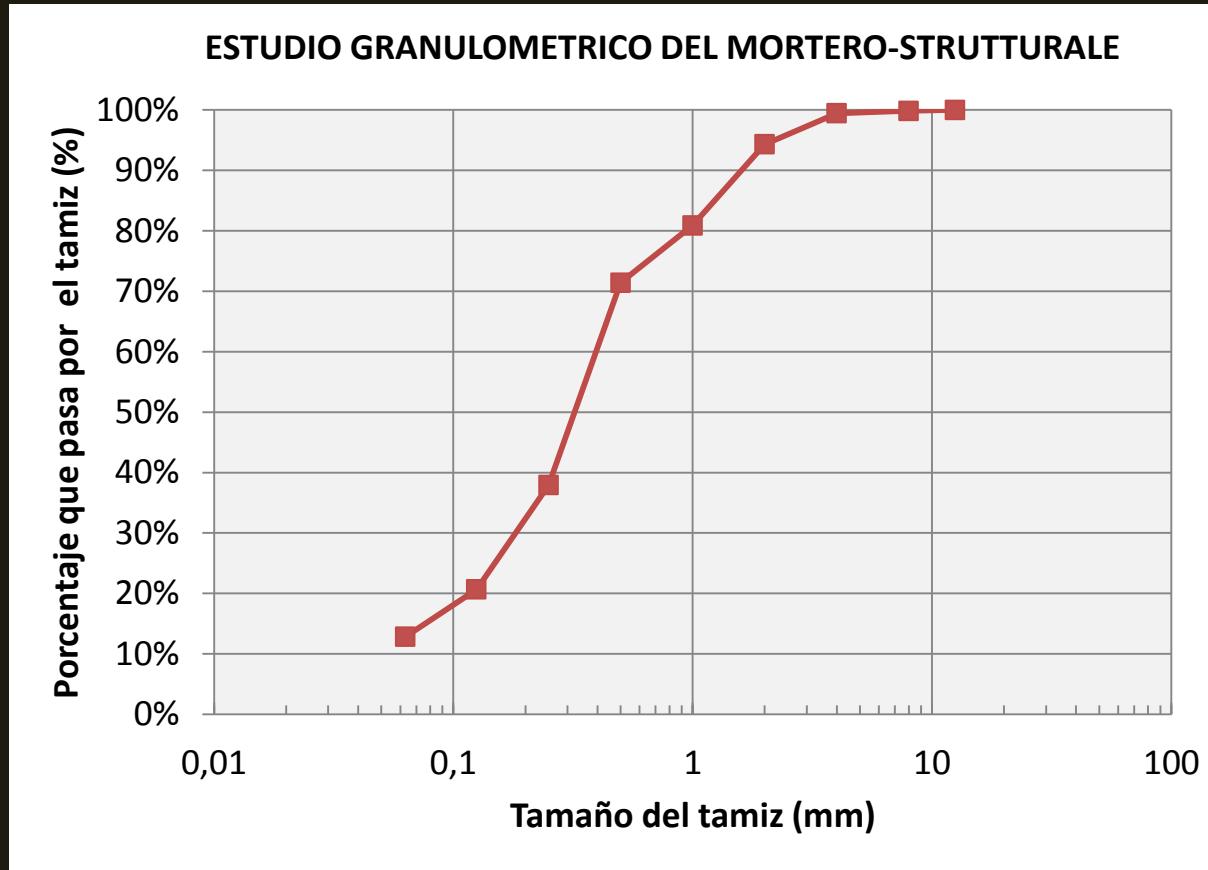


Barras de fibra de vidrio-resina y acero inoxidable

GRANULOMETRÍA DE LOS ÁRIDOS DEL HORMIGÓN



GRANULOMETRÍA DEL MORTERO



Mayor concentración de granos: de 0,25mm con 33,48% del peso total del árido y 0,125mm con 17,26% del peso total

OBJETIVOS DEL ESTUDIO:

- Determinar la adherencia entre las barras de fibra de vidrio y los hormigones y morteros de cal
- Determinar las prestaciones mecánicas tanto del hormigón como del mortero.
- Conocer las características propias del material que pueden influir en el comportamiento mecánico del mismo.

ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS

Probetas para
ensayos de →
caracterización



Probetas de hormigón
10x10x40cms



Probetas de mortero
4x4x16cms

3 probetas por tipo
y por edad, con un
total de 24
probetas y 6
probetas para
ensayar al cabo de
un año

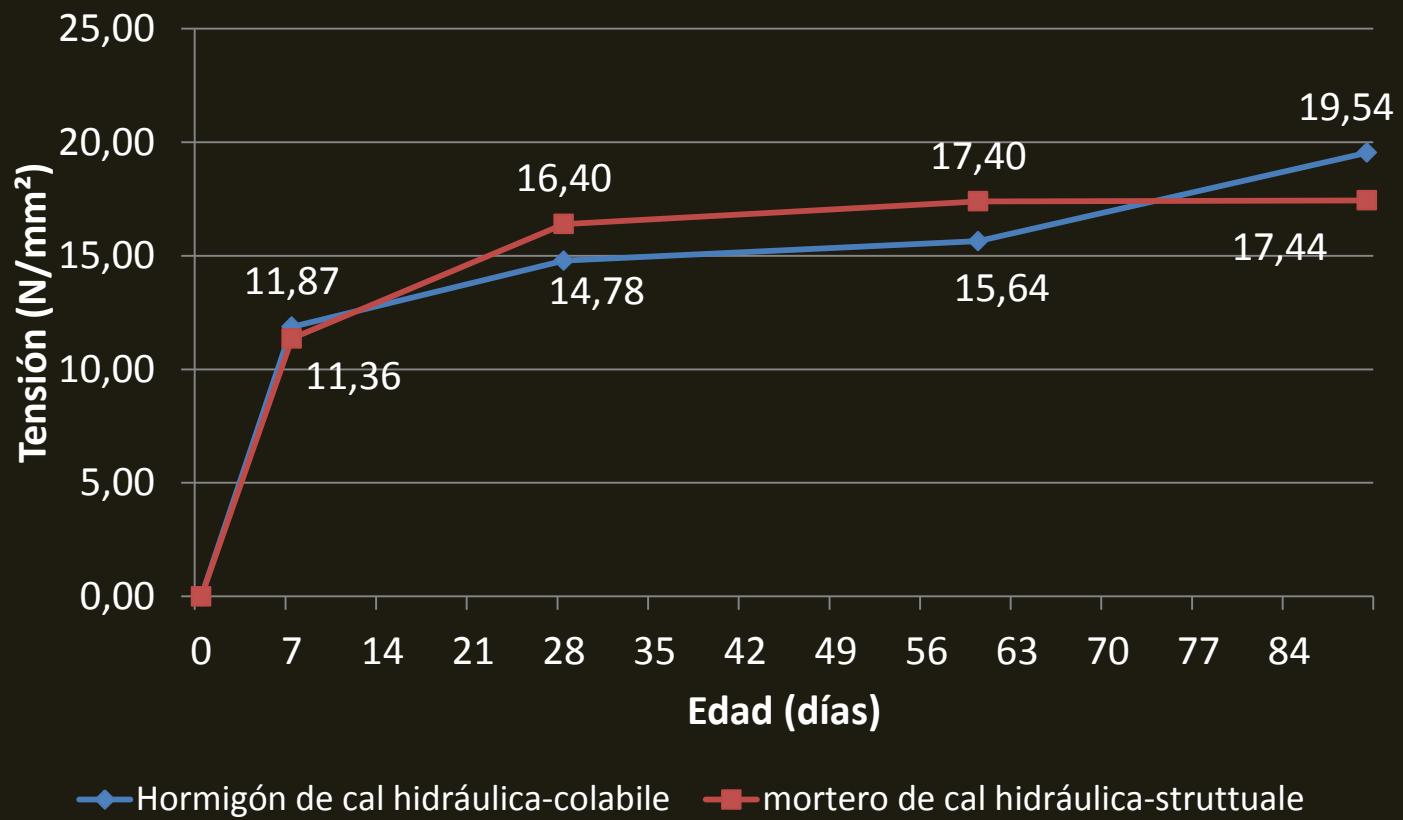
Probetas para
ensayo de →
arrancamiento



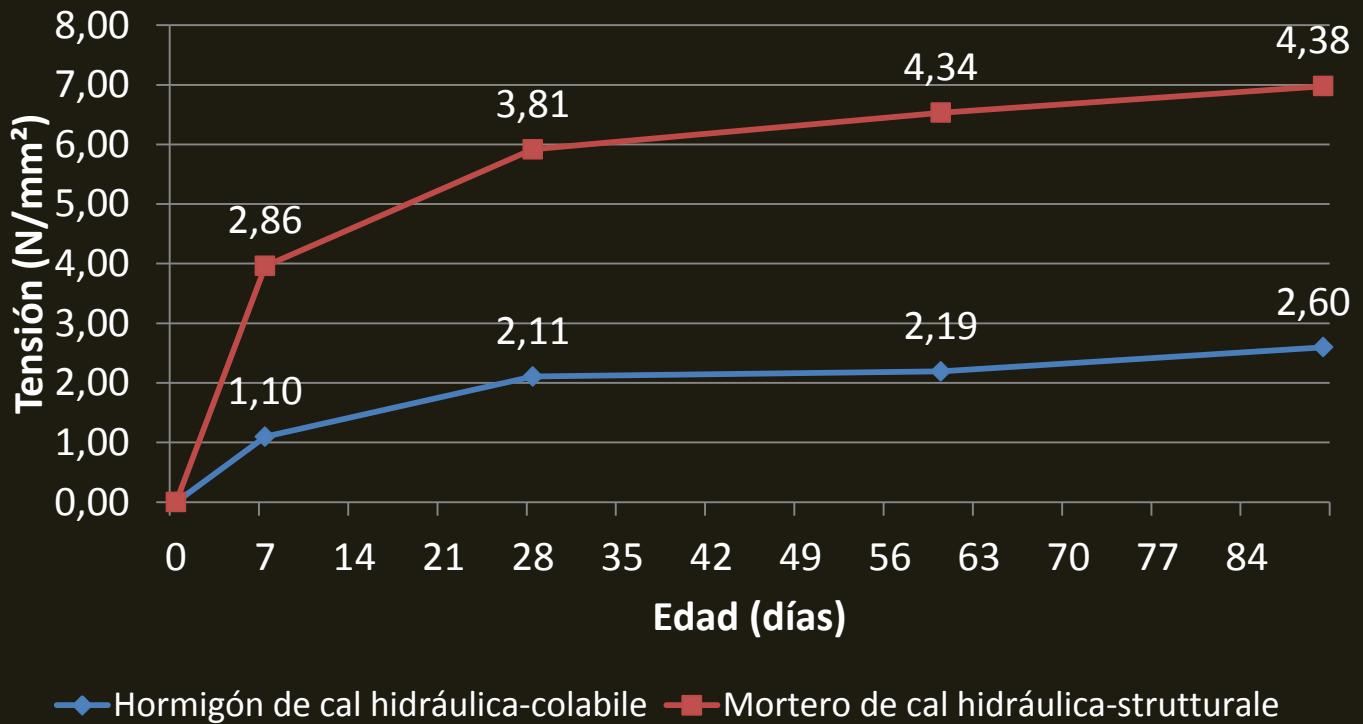
probetas de mortero y hormigón 15x15x15cms

6 probetas por tipo y
por edad y refuerzo,
con un total de 96
probetas y 24
probetas para
ensayar al cabo de un
año

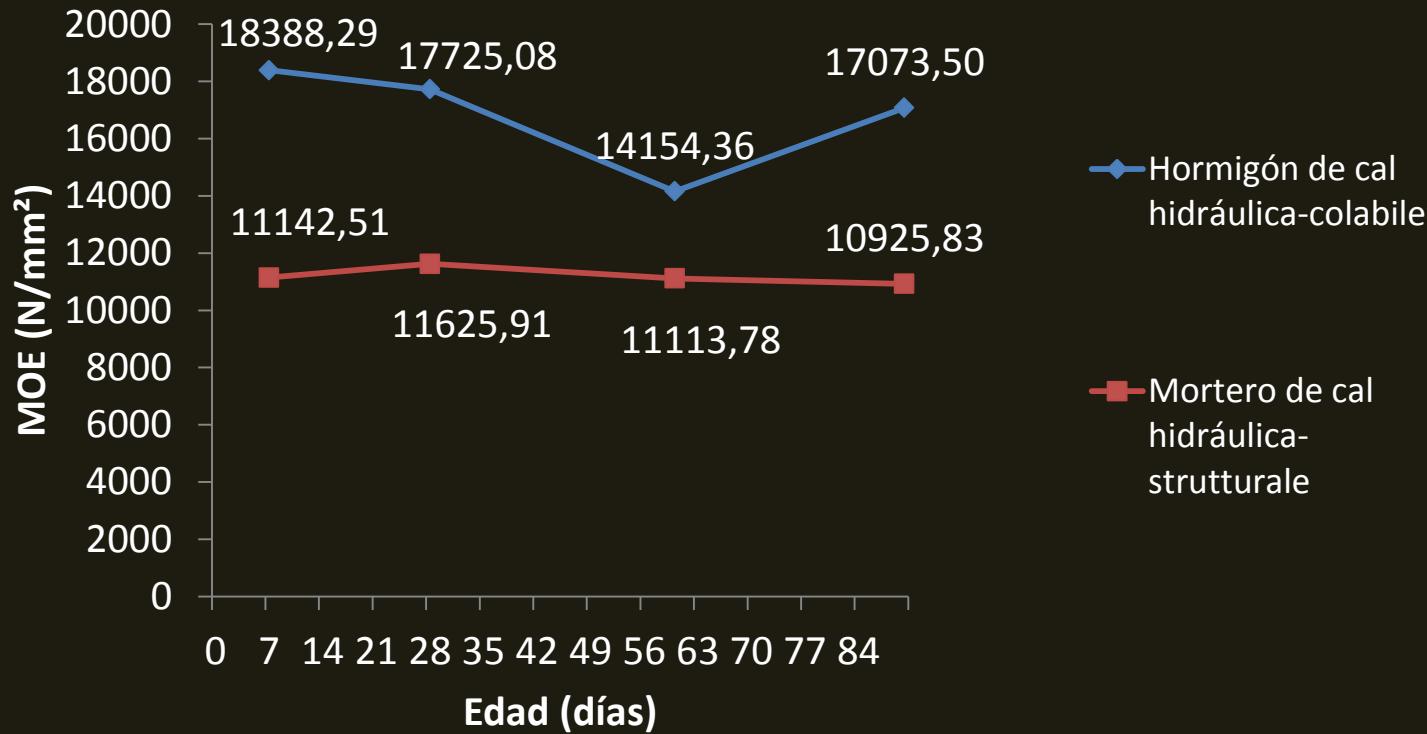
Evolución de la resistencia a compresión a través del tiempo



Evolución de la resistencia a flexo-tracción a través del tiempo



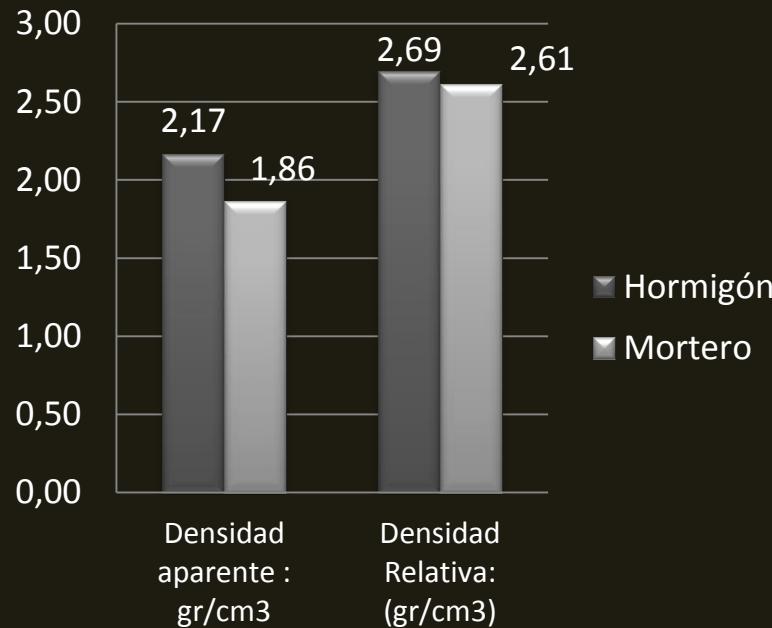
Módulo de Young por edad



Ensayos realizados bajo la norma UNE-EN ISO 12680-1

Datos obtenidos por el método de impacto a flexión, ya que los coeficientes de variación resultaron muy elevados con las otras metodologías

Densidad



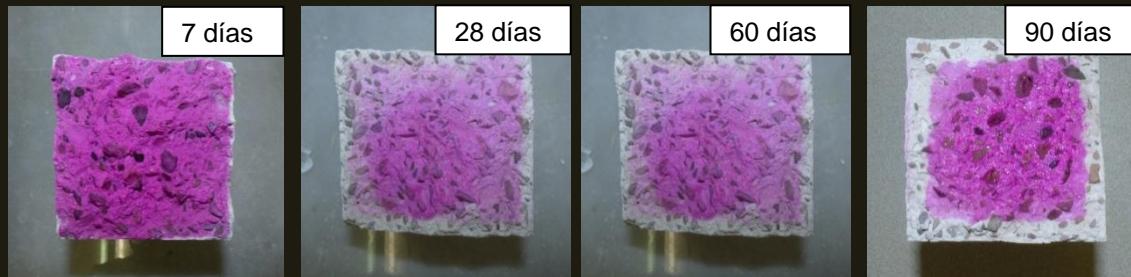
Porcentaje de Porosidad y agua



Ensayos realizados según norma UNE-EN 1015

PROCESO DE CARBONATACIÓN

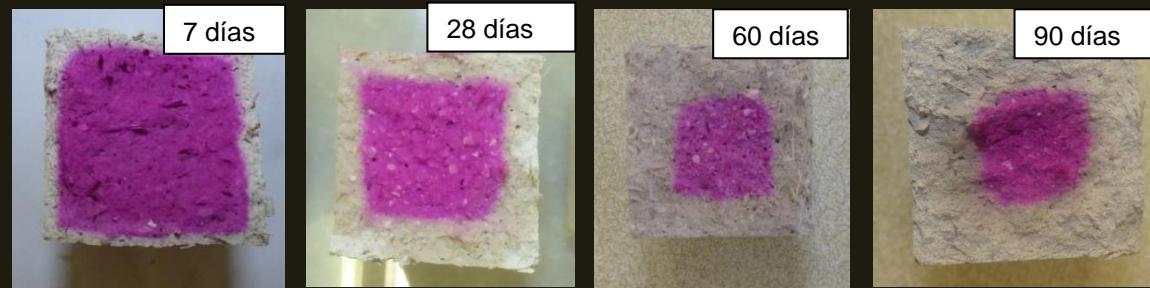
HORMIGÓN



Evolución de la profundidad de carbonatación de hormigones de cal hidráulica-colabiles a las edades de 7, 28, 60 y 90 días respectivamente



MORTERO



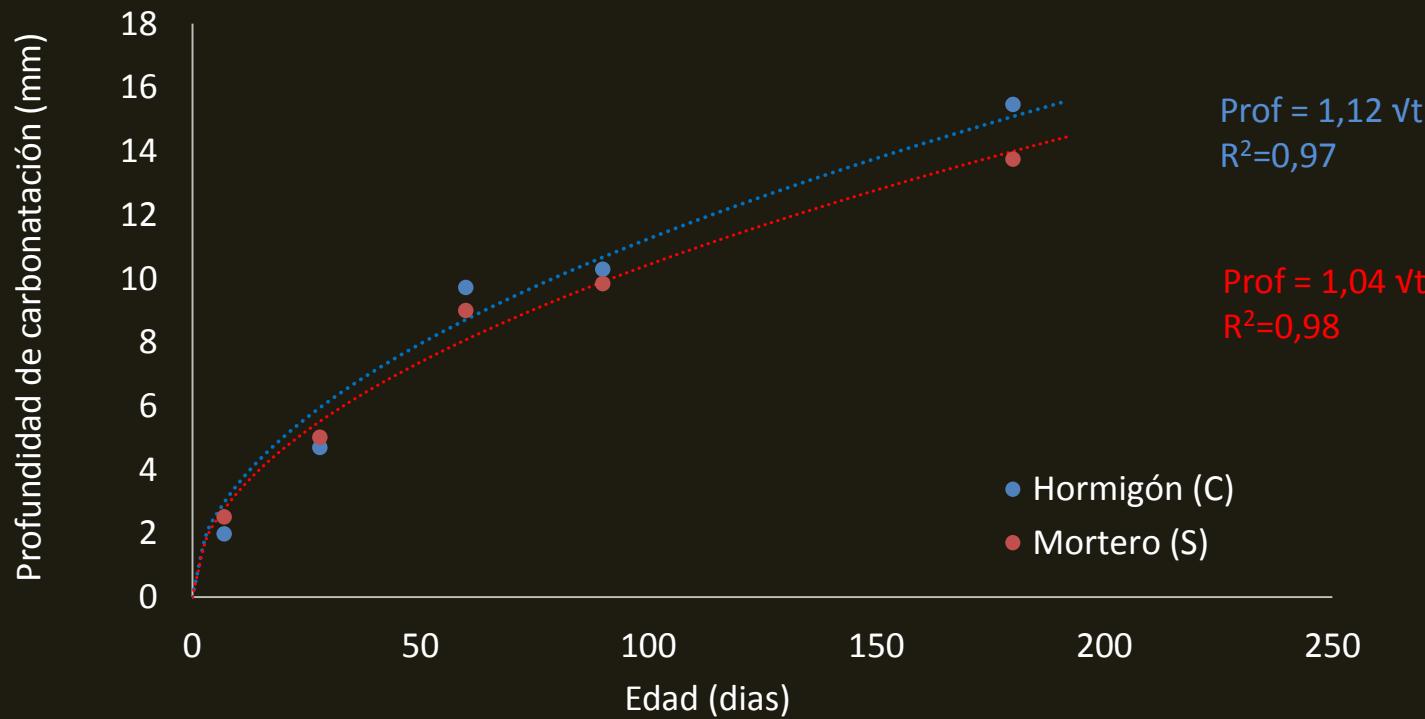
Evolución de la profundidad de carbonatación de mortero de cal hidráulica-strutturale a las edades de 7, 28, 60 y 90 días respectivamente

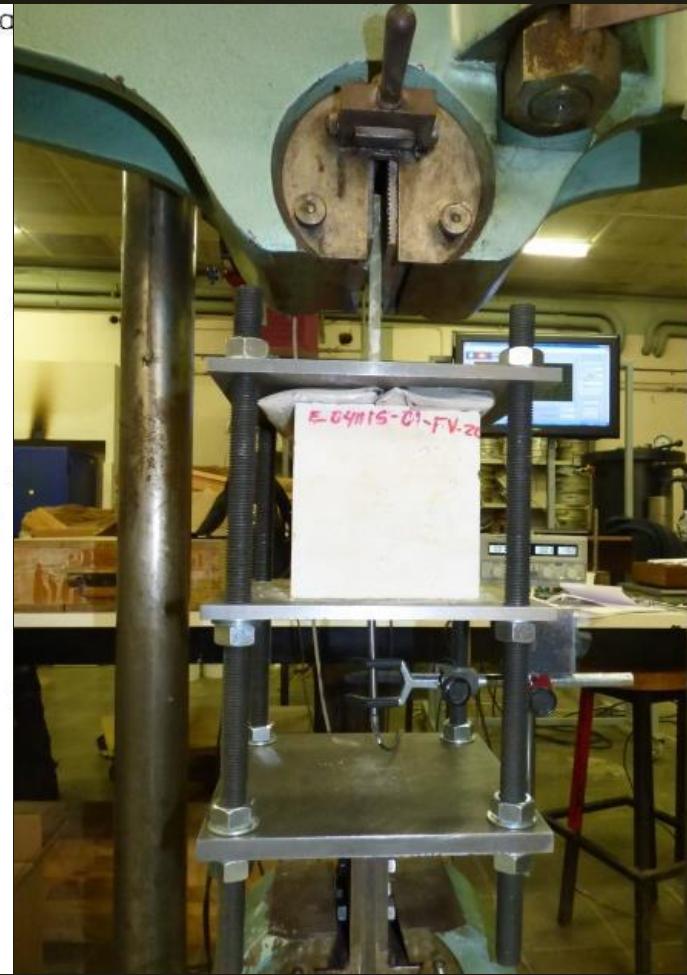
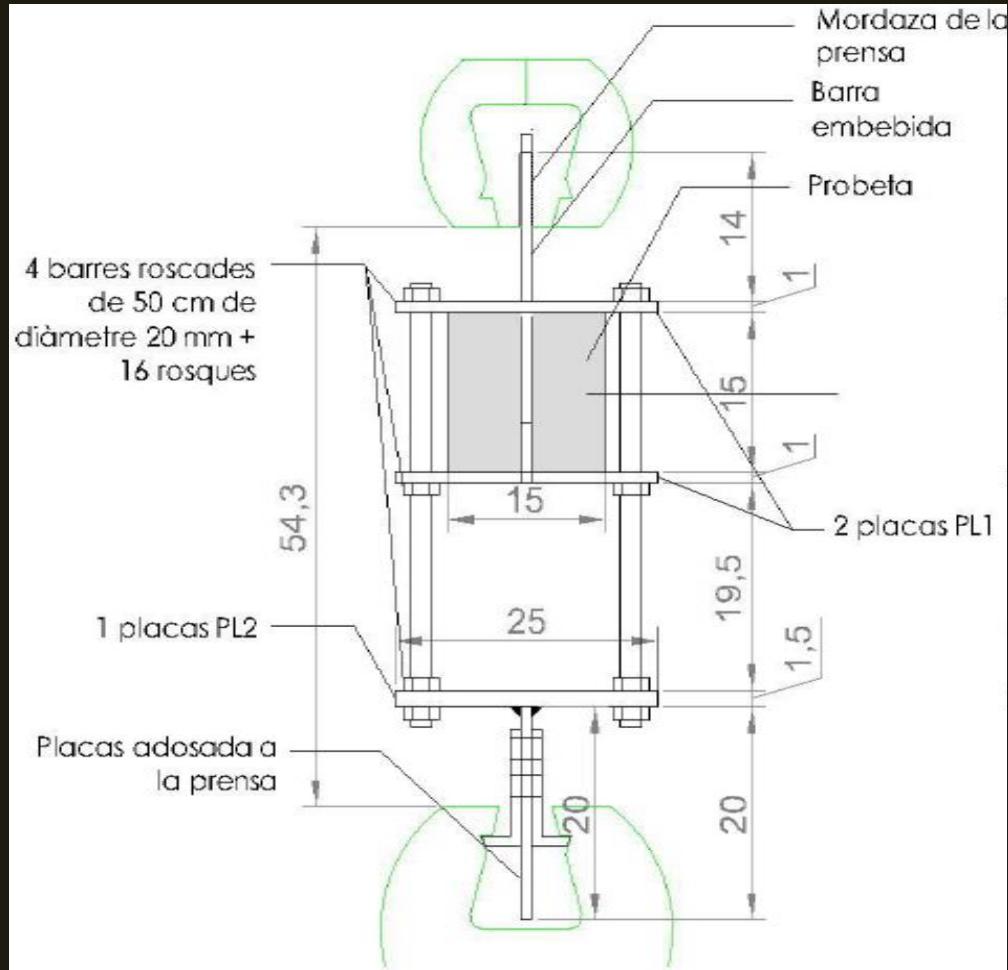
Ensayos realizados bajo norma UNE EN 13295

Las probetas fueron envejecidas de forma natural, humedeciéndolas de manera periódica y dejando todas sus caras expuestas

PROCESO DE CARBONATACIÓN

Velocidad de carbonatación en el tiempo

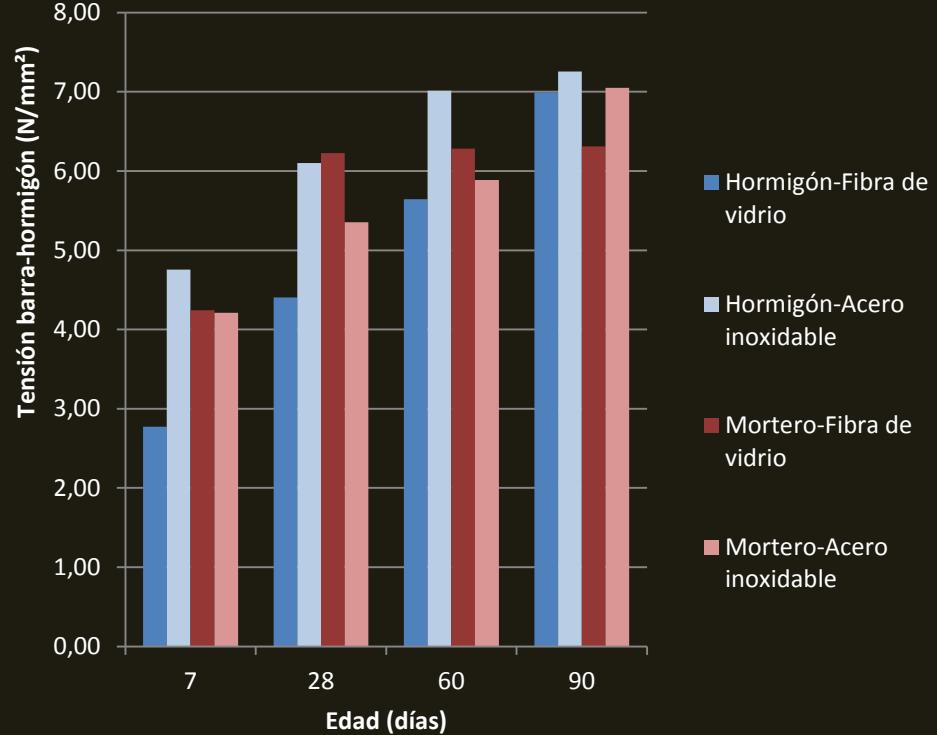




Esquema del útil para el ensayo “pull out” y probeta 15x15x15 cm durante el ensayo UNE EN 10080

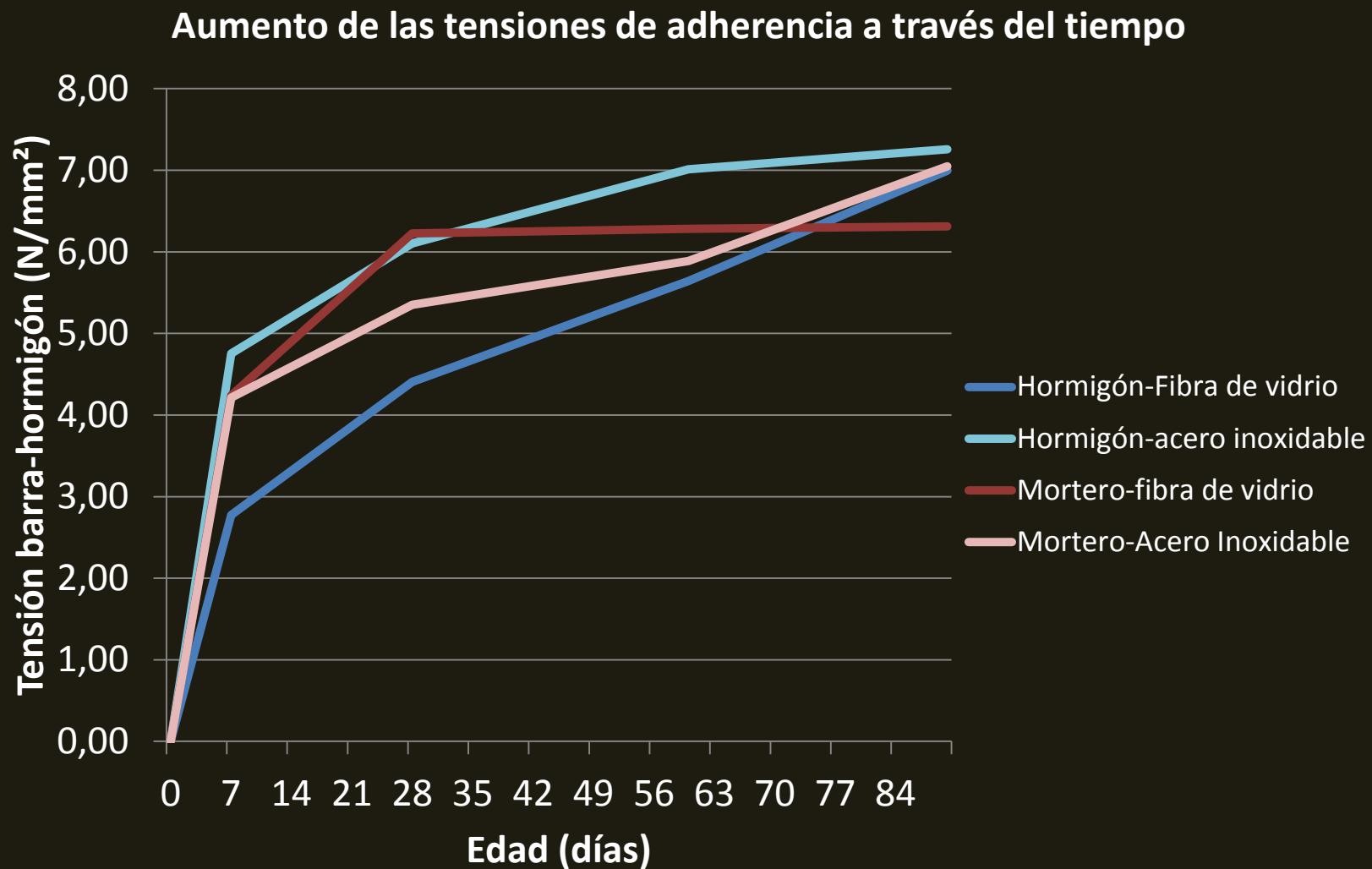
ADHERENCIA DE LAS BARRAS

Tensión de adherencia



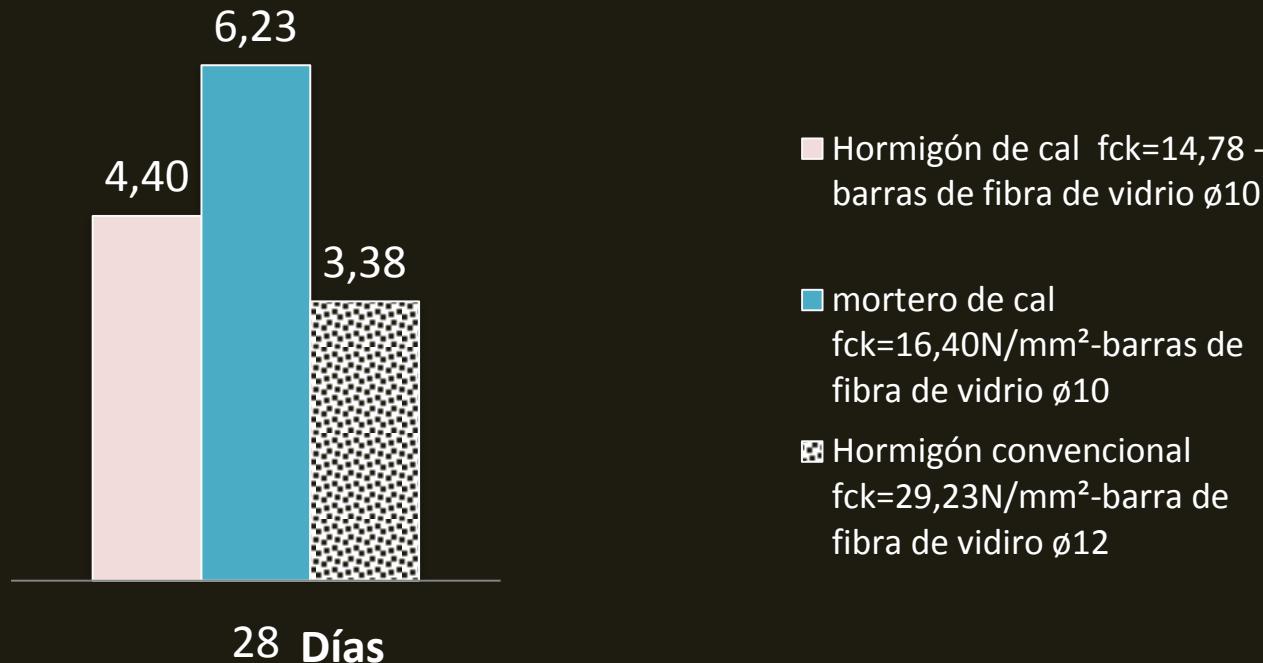
Hormigón-barra	7 días	28 días	60 días	90 días
COLABILE-FIBRA DE VIDRIO	$2,77 \pm 0,54$	$4,40 \pm 0,64$	$5,64 \pm 0,61$	$6,99 \pm 0,87$
COLABILE-ACERO INOXIDABLE	$4,76 \pm 0,51$	$6,10 \pm 0,59$	$7,01 \pm 0,57$	$7,26 \pm 0,82$
ESTRUCTURALE-FIBRA DE VIDRIO	$4,24 \pm 0,54$	$6,23 \pm 1,28$	$6,28 \pm 1,29$	$6,31 \pm 0,90$
ESTRUCTURALE-ACERO INOXIDABLE	$4,21 \pm 0,88$	$5,35 \pm 1,11$	$5,89 \pm 0,79$	$7,05 \pm 1,16$

ADHERENCIA DE LAS BARRAS



ADHERENCIA DE LAS BARRAS

Tensiones de adherencia N/mm² con barras de fibra de vidrio a los 28 días entre los especímenes de cal ensayados y otros hormigones convencionales



Valores de tensión media de adherencia (t_{bm}) no son significativamente diferentes a los que especifica la Instrucción EHE 08 en el artículo 32.2 para armaduras de acero, entre 8 y 32 mm de diámetro. Para diámetros de 10 mm, el valor de τ_{bm} es 6.64 ($\tau_{bm} = 7,84 - 0,12 \cdot \text{Diam.}$), siempre considerando hormigones de resistencia característica 25 ± 5 N/mm².

CONCLUSIONES

1. Los morteros y hormigones de cal hidráulica armados con barras de fibra de vidrio resultan una alternativa viable para restauraciones de edificios históricos.
2. Estos materiales son altamente porosos, siendo más permeables y menos resistentes, por lo que para ser usados en rehabilitación-restauración deben ser dimensionados a partir de sus prestaciones (evidentemente).
3. La resistencia mecánica del hormigón o mortero, influye directamente en la adherencia de las barras.
4. La carbonatación no influirá en la adherencia de las barras en las primeras edades, sin embargo puede llegar a influir cuando la profundidad de carbonatación llegue a la parte que está en contacto con la barra. (no se ha estudiado)
5. El hormigón de cal hidráulica probado en los ensayos, resultó ser más rígido que el de mortero, pero menos rígido que el de cemento portland con resistencia equivalente ($f_{cm} = 20 \text{ MPa}$; $E_{cm} = 23 \text{ GPa}$).
6. La fibra de vidrio presente en los morteros ensayados hace que aumente su capacidad resistente a flexión, influyendo en la adherencia de las barras.
7. Con las barras de acero se pueden doblar los extremos in situ y aumentar su anclaje, mientras que los de fibra de vidrio no, a menos que se haga en fábrica.

V Jornadas FICAL

Fórum Ibérico da Cal

Portugal | Lisboa | LNEC | 23-25 | maio | 2016



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL



FICAL

Forum Ibérico de la Cal



Hormigones de cal: Adherencia a las armaduras

Rosell, J.R.

De la Rosa, G.

Ramírez-Casas, J.

Los autores agradecen la colaboración de:

- El equipo multidisciplinar de Mercè Zazurca
- Mapei S.A. y URCOTEX
- Laboratori de Materials de l'EPSEB-UPC



Escola Politècnica Superior
d'Edificació de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA