



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



Escuela Técnica Superior de
Ingeniería de Edificación

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA EN LA EDIFICACIÓN

TALLER CIENTÍFICO – TÉCNICO: MATERIALES AVANZADOS

PROYECTO FINAL DE GRADO

HORMIGÓN DE MATRIZ MIXTA
CEMENTO - ACRÍLICO

ALUMNA: ADRIANA CASTELLESE MONZÓ

TUTORES: JOSÉ RAMÓN ALBIOL IBAÑEZ
LUIS V. GARCIA BALLESTER

Valencia, Septiembre de 2011

ÍNDICE:

1. OBJETIVOS
2. ESTADO DEL ARTE
3. PROGRAMA EXPERIMENTAL
4. METODOLOGÍA DE ENSAYO
5. RESULTADOS Y ANÁLISIS
6. CONCLUSIONES
7. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

OBJETIVOS:

- Mejorar la **trabajabilidad** de los microhormigones de altas prestaciones con la incorporación de resinas acrílicas.
- Aumentar las **resistencias mecánicas**, tanto a flexión como a compresión, de estos microhormigones, y observar su comportamiento.

ESTADO DEL ARTE:

- *¿Qué son las resinas acrílicas?*

Es un **polímero** que resulta de la polimerización de los ácidos acrílicos y metacrílicos, considerado de bajo peso molecular, que se agrega de forma **líquida** junto con los componentes del hormigón en el proceso de amasado.

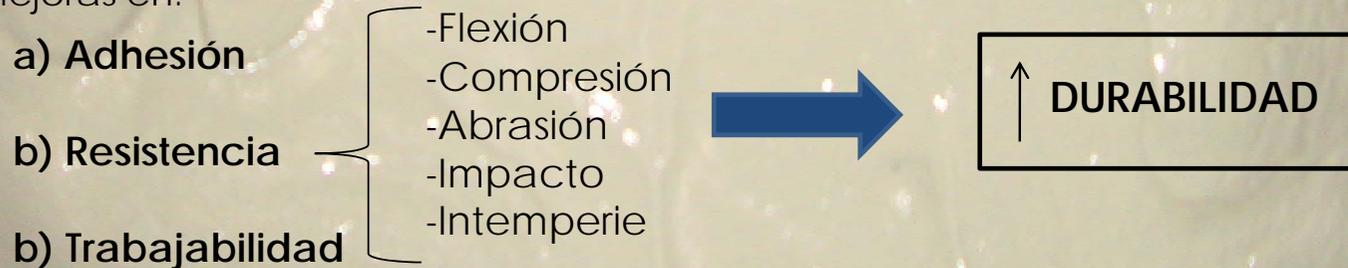
- *¿Qué ocurre en la matriz cementante al incorporar este polímero?*

Al añadir esta resina líquida durante el amasado se forma una matriz mixta donde el polímero se homogeniza con los demás componente. Consiguiendo un **aglomerante híbrido orgánico-inorgánico** (polímero, cemento y agua).

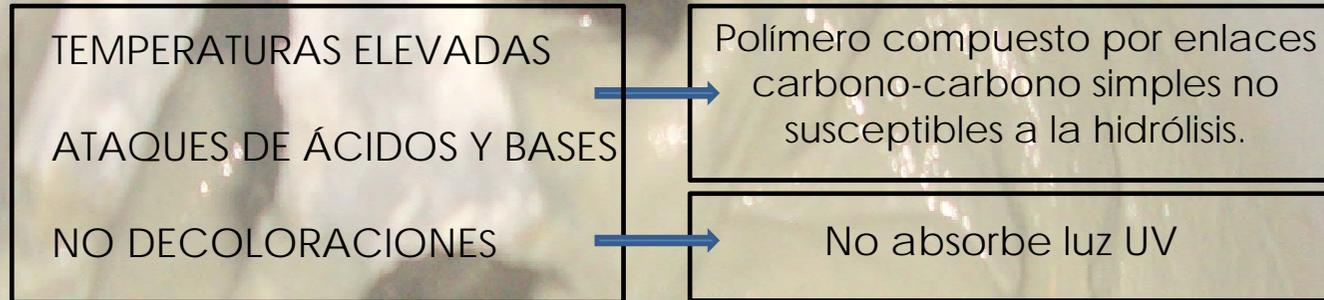
Al incorporar esta resina en estado líquido, la adición de agua por parte de esta induce a que el cemento se hidrate, provocando la polimerización de las resinas in situ, formando una **red de polímero interpenetrante**, fuertemente unida al cemento hidratado

- *¿Qué mejoras se obtienen agregando resinas acrílicas a los hormigones?*

En los estudios realizados hasta hoy tan solo se han incorporado estas resinas a **hormigones convencionales** sin altas prestaciones (**A/C = 0,50**), obteniendo mejoras en:



Esta propiedad de **DURABILIDAD** es por lo que son reconocidos los polímeros acrílicos, ya que resisten:



La incorporación de **resinas acrílicas** creará por tanto hormigones con durabilidad a largo plazo bajo condiciones de humedad, aplicándose principalmente como **morteros de reparación** por su **fuerza de adherencia**, sus **mayores resistencias** y su **impermeabilidad**.

El estudio que se realizará a continuación analizará si estas mejoras de **resistencias mecánicas** (flexión y compresión) y **trabajabilidad** obtenidas en hormigones sin altas prestaciones se obtienen en hormigones de ultra-altas (UHPC) y altas resistencias (HPC).

No se comprobará si mejora sus **resistencias a lo largo del tiempo** (agentes químicos, intemperie...) puesto que es difícil reproducir en el laboratorio condiciones que reflejen de una manera acelerada el comportamiento del tiempo.

PROGRAMA EXPERIMENTAL

1. DOSIFICACIONES

Se realizarán **dos bloques de amasadas** con relaciones de A/C diferentes, realizando morteros de ultra-alta resistencia (UHPC) y de alta resistencia (HPC) a los que se le incorporarán diferentes porcentajes de resinas acrílicas, y se observará si aportan mejoras, al igual que en los hormigones convencionales, en cuanto a:

- **Trabajabilidad y consistencia** (visual)
- **Tiempo de curado** (fabricación)
- **Resistencias mecánicas** (ensayos)

La dosificación de la amasada **patrón 1** es óptima para fabricar UHPC ya que se ha analizado en un estudio previo.

DOSIFICACIÓN (g/l)	Patrón 1	Amasada 3	Amasada 2	Amasada 1	Amasada 4	Amasada 5	Amasada 6
	PT. 1-2-3	P7-P8-P9	P4-P5-P6	P1-P2-P3	P10-P11-P12	P13-P14-P15	P16-P17-P18
Cemento	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Agua	250	244	235	220	208	199	190
Humo de sílice	200	244	235	200	200	200	200
Arena silícea	600	600	600	600	600	600	600
Silicato de alúmina	400	400	400	400	400	400	400
Aditivo	60	60	60	60	60	60	60
Acrílico	0	10	25	50	70	85	100
A/C	A/C = 0.25						

Antes de realizar la amasada de mortero de alta resistencia se llevarán a cabo diferentes dosificaciones cambiando las relaciones A/C, humo de sílice y superfluidificante, para observar como se comportan éstas tanto en trabajabilidad como en resistencias mecánicas:

PATRONES ALTA RESISTENCIA (HPC)

DOSIFICACIÓN (g/l)	Patrón 2	Patrón 3	Patrón 4
	PT. 4-5-6	PT. 7-8-9	PT. 10-11-12
Cemento	500	500	500
Agua	225	165	150
Humo de sílice	200	100	100
Arena silícea	945	945	945
Silicato de alúmina	400	500	500
Aditivo	35	50	50
Acrílico	0	0	0
A/C	A/C - 0,45	A/C - 0,33	A/C - 0,30

Se elige la patrón con menor relación agua/cemento puesto que se alcanzarán mayores resistencias mecánicas, incorporándole diferentes porcentajes de resinas acrílicas, tal y como se observa en la siguiente tabla:

ALTA RESISTENCIA (HPC)

DOSIFICACIÓN (g/l)	Patrón 4	Amasada 10	Amasada 11	Amasada 12	Amasada 7	Amasada 8	Amasada 9
	PT. 10-11-12	P28-P29-P30	P31-P32-P33	P34-P35-P36	P19-P20-P21	P22-P23-P24	P25-P26-P27
Cemento	500	500	500	500	500	500	500
Agua	150	144	135	120	108	99	90
Humo de sílice	100	100	100	100	100	100	100
Arena silícea	945	945	945	945	945	945	945
Silicato de alúmina	500	500	500	500	500	500	500
Aditivo	50	50	50	50	50	50	50
Acrílico	0	10	25	50	70	85	100
A/C	A/C = 0,3						

2. MATERIALES EMPLEADOS

- Cemento CEM I 52,5 R
- Arena Silíceo (0 – 2 mm)
- Silicato de aluminio
- Humo de sílice
- Aditivo Superfluidificante
- Agua
- Resina acrílica

Alta categoría, ya que las características resistentes del cemento son fundamentales para hormigones con altas prestaciones



2. MATERIALES EMPLEADOS

- Cemento CEM I 52,5 R
- **Arena Silícea (0 – 2 mm)**
- Silicato de aluminio
- Humo de sílice
- Aditivo Superfluidificante
- Agua
- Resina acrílica

Árido fino y rodado con una granulometría entre 0 y 2 mm ya que demanda **más agua** y da **más docilidad** al hormigón.



2. MATERIALES EMPLEADOS

- Cemento CEM I 52,5 R
- Arena Silíceo (0 – 2 mm)
- **Silicato de aluminio**
- Humo de sílice
- Aditivo Superfluidificante
- Agua
- Resina acrílica

Material fabricado a partir de escorias de fusión. Granulometría muy reducida (0,08 – 0,16 mm) que aumenta la cohesión y trabajabilidad del mortero.



2. MATERIALES EMPLEADOS

- Cemento CEM I 52,5 R
- Arena Silíceo (0 – 2 mm)
- Silicato de aluminio
- **Humo de sílice**
- Aditivo Superfluidificante
- Agua
- Resina acrílica

Aumenta la **cohesión** del hormigón fresco y las **resistencias mecánicas** una vez ha endurecido ya que actúa simultáneamente como puzolana y como filler.



2. MATERIALES EMPLEADOS

- Cemento CEM I 52,5 R
- Arena Silíceo (0 – 2 mm)
- Silicato de aluminio
- Humo de sílice
- **Aditivo Superfluidificante**
- Agua
- Resina acrílica

Reduce fuertemente el contenido de **agua** sin modificar la consistencia, obteniendo **resistencias** muy elevada. (menores relaciones A/C).



2. MATERIALES EMPLEADOS

- Cemento CEM I 52,5 R
- Arena Silíceo (0 – 2 mm)
- Silicato de aluminio
- Humo de sílice
- Aditivo Superfluidificante
- Agua
- Resina acrílica

Necesaria para la hidratación del cemento.

Imprimación de adherencia en base agua utilizada previa aplicación de morteros cementosos y yesos. Aporta buena **adherencia** debido a su flexibilidad, característica esencial para dar mayor **trabajabilidad** al hormigón fresco y mayores resistencias a **flexión** una vez endurecido



MÉTODOLÓGÍA DE ENSAYO

Para llevar a cabo estas dosificaciones, la metodología empleada será la siguiente:

1. PESAJE DE MATERIALES

Previo al amasado será necesario pesar cada uno de los materiales empleados y valorar la humedad de los áridos, puntualizando en un aspecto importante, hay que mantener el contenido unitario de agua puesto que las ligeras variaciones de ésta en su pesado repercuten en grandes pérdidas



2. AMASADO

Se llevarán a cabo dos métodos de amasado, uno para cada bloque, puesto que en los hormigones HPC se reduce a la mitad la cantidad de cemento, debiendo incorporar esta cantidad a la arena silícea.

Se dispone de una amasadora fija de 5 litros marca Ibertest, formada por una cubeta de acero con enganches rígidos a la amasadora y una paleta de acero con dos cambios de velocidades.



UHPC (A/C = 0,25)

1ª FASE (2 ciclos de 50 s)

CEMENTO + ½ AGUA + (1/2
AGUA + 90% ADITIVO)

HPC (A/C = 0,30)

1ª FASE (4 ciclos de 50 s)

CEMENTO + ½ AGUA + (1/2
AGUA + 90% ADITIVO)



UHPC (A/C = 0,25)

1ª FASE (2 ciclos de 50 s)

CEMENTO + ½ AGUA + (1/2
AGUA + 90% ADITIVO)

HPC (A/C = 0,30)

1ª FASE (4 ciclos de 50 s)

CEMENTO + ½ AGUA + (1/2
AGUA + 90% ADITIVO)



UHPC (A/C = 0,25)

1ª FASE (2 ciclos de 50 s)

CEMENTO + ½ AGUA + (1/2
AGUA + 90% ADITIVO)

HPC (A/C = 0,30)

1ª FASE (4 ciclos de 50 s)

CEMENTO + ½ AGUA + (1/2
AGUA + 90% ADITIVO)



UHPC (A/C = 0,25)

1ª FASE (2 ciclos de 50 s)
CEMENTO + ½ AGUA + (1/2
AGUA + 90% ADITIVO)

2ª FASE (3 ciclos de 50 s)
HUMO DE SÍLICE



HPC (A/C = 0,30)

1ª FASE (4 ciclos de 50 s)
CEMENTO + ½ AGUA + (1/2
AGUA + 90% ADITIVO)

2ª FASE (5 ciclos de 50 s)
HUMO DE SÍLICE



UHPC (A/C = 0,25)



3ª FASE (1 ciclo de 50 s)
SILICATO DE ALUMINIO + 10%
ADITIVO + **100% RESINA**
ACRÍLICA

HPC (A/C = 0,30)



3ª FASE (3 ciclos de 50 s)
SILICATO DE ALUMINIO + 10%
ADITIVO + **50% RESINA**
ACRÍLICA

UHPC (A/C = 0,25)

HPC (A/C = 0,30)



3ª FASE (1 ciclo de 50 s)
SILICATO DE ALUMINIO + 10%
ADITIVO + 100% RESINA
ACRÍLICA

3ª FASE (3 ciclos de 50 s)
SILICATO DE ALUMINIO + 10%
ADITIVO + 50% RESINA
ACRÍLICA

4ª FASE (2 ciclos de 50 s)
ÁRIDO FINO

4ª FASE (4 ciclos de 50 s)
ÁRIDO FINO + 50% RESINA

UHPC (A/C = 0,25)

1ª FASE (2 ciclos de 50 s)

CEMENTO + ½ AGUA + (1/2
AGUA + 90% ADITIVO)

2ª FASE (3 ciclos de 50 s)

HUMO DE SÍLICE

3ª FASE (1 ciclo de 50 s)

SILICATO DE ALUMINIO + 10%
ADITIVO + **100% RESINA
ACRÍLICA**

4ª FASE (2 ciclos de 50 s)

ÁRIDO FINO

HPC (A/C = 0,30)

1ª FASE (4 ciclos de 50 s)

CEMENTO + ½ AGUA + (1/2
AGUA + 90% ADITIVO)

2ª FASE (5 ciclos de 50 s)

HUMO DE SÍLICE

3ª FASE (3 ciclos de 50 s)

SILICATO DE ALUMINIO + 10%
ADITIVO + **50% RESINA
ACRÍLICA**

4ª FASE (4 ciclos de 50 s)

ÁRIDO FINO + **50% RESINA**

3. INTRODUCCIÓN DE LA AMASADA EN EL MOLDE Y VIBRADO

Colocación del mortero en un molde tripe metálico para probetas de 40 x 40 x 160 mm.

Introducción del mortero en dos capas, compactando cada una de ellas con una serie de 10 golpes. El exceso de mortero se eliminará con regla para enrasar.

Vibrado del hormigón con vibrador de aguja o mesa vibradora.



Molde compuesto de un cuadro abierto de paredes móviles que forman tres compartimentos cuando están montados. Tiene unas dimensiones totales de 245 x 300 x 55 mm y pesa unos 12 kg, según normas **UNE EN 196-1 y EN 1015-11**.

3. INTRODUCCIÓN DE LA AMASADA EN EL MOLDE Y VIBRADO

Colocación del mortero en un molde tripe metálico para probetas de 40 x 40 x 160 mm.

Introducción del mortero en dos capas, compactando cada una de ellas con una serie de 10 golpes. El exceso de mortero se eliminará con regla para enrasar.

Vibrado del hormigón con vibrador de aguja o mesa vibradora.



3. INTRODUCCIÓN DE LA AMASADA EN EL MOLDE Y VIBRADO

Colocación del mortero en un molde tripe metálico para probetas de 40 x 40 x 160 mm.

Introducción del mortero en dos capas, compactando cada una de ellas con una serie de 10 golpes. El exceso de mortero se eliminará con regla para enrasar.

Vibrado del hormigón con vibrador de aguja o mesa vibradora.



4. CURADO DEL MOLDE Y DESMOLDADO DE PROBETAS.

Colocación del molde etiquetado en cámara húmeda a una $T^{\circ} 25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ con una humedad relativa al $95\% \pm 5\%$ durante 24 o 48 horas.

Transcurrido este tiempo se desmoldan las probetas y se marcan para poderlas identificar fácilmente durante los ensayos .

Inmediatamente después se sumergen en agua durante 3 días en la cámara húmeda.



4. CURADO DEL MOLDE Y DESMOLDADO DE PROBETAS.

Colocación del molde etiquetado en cámara húmeda a una T^a $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ con una humedad relativa al $95\% \pm 5\%$ durante 24 o 48 horas.

Transcurrido este tiempo se desmoldan las probetas y se marcan para poderlas identificar fácilmente durante los ensayos .

Inmediatamente después se sumergen en agua durante 3 días en la cámara húmeda.



4. CURADO DEL MOLDE Y DESMOLDADO DE PROBETAS.

Colocación del molde etiquetado en cámara húmeda a una T^a $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ con una humedad relativa al $95\% \pm 5\%$ durante 24 o 48 horas.

Transcurrido este tiempo se desmoldan las probetas y se marcan para poderlas identificar fácilmente durante los ensayos .

Inmediatamente después se sumergen en agua durante 3 días en la cámara húmeda.



5. CURADO AL VAPOR EN HORNO

Colocación de las probetas sumergidas en agua en una estufa de secado durante **3 días** a una **T° de 60°C**, adelantando el proceso de curado para llegar a su máxima resistencia a baja edad.



6. REALIZACIÓN DE ENSAYOS

Para poder realizar los ensayos, las probetas deberán enfriarse durante **24 horas** sumergidas en la cámara húmeda.

ENSAYO A FLEXIÓN

Equipo: Se utilizará un equipo de rotura a flexión en **tres puntos**, con un **captador** que medirá las deformaciones producidas en la probeta durante su rotura.

Preparación: Limpieza superficies de contacto del equipo y colocación probeta con una de las caras en contacto con el molde sobre rodillos de apoyo (velocidad carga 10 – 50 N/s)

Resistencia a flexión: Valor medio de la rotura de las 3 probetas de mortero ensayadas.



6. REALIZACIÓN DE ENSAYOS

Para poder realizar los ensayos, las probetas deberán enfriarse durante **24 horas** sumergidas en la cámara húmeda.

ENSAYO A COMPRESIÓN

Equipo: Se utiliza un adaptador centrado sobre el plato inferior siendo el plato superior quien aplica la carga.

Preparación: Cada uno de los semiprismas procedentes del ensayo de flexión se centran lateralmente con relación a los platos del equipo y longitudinalmente (velocidad de carga 2000 ± 200 N/s)

Resistencia a compresión: Valor medio de la rotura de los 6 semiprismas ensayados.



RESULTADOS Y ANÁLISIS

1. HORMIGÓN DE ULTRA-ALTA RESISTENCIA (UHPC) CON RELACIÓN A/C = 0,25.

FABRICACIÓN:

		Patrón 1	Amasada 3	Amasada 2	Amasada 1	Amasada 4	Amasada 5	Amasada 6
		PT. 1-2-3	P7-P8-P9	P4-P5-P6	P1-P2-P3	P10-P11-P12	P13-P14-P15	P16-P17-P18
DOSIFICACIÓN (g/l)	Cemento	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
	Agua	250	244	235	220	208	199	190
	Humo de sílice	200	244	235	200	200	200	200
	Arena silícea	600	600	600	600	600	600	600
	Silicato de alúmina	400	400	400	400	400	400	400
	Aditivo	60	60	60	60	60	60	60
	Acrílico	0	10	25	50	70	85	100
	A/C	A/C = 0.25						
FABRICACIÓN	Consistencia	Plástica	Seca	Plástica	Plástica	Plástica	Plástica	Plástica
	Trabajabilidad	Buena	Buena	Buena	Buena	Muy buena	Muy buena	Muy buena
	Vibrado	Vibrador	Mesa	Vibrador	Vibrador	Vibrador	Vibrador	Vibrador
	Desmolde	24 horas	24 horas	24 horas	24 horas	24 horas	24 horas	24 horas
	Curado (días)	10	3	8	8	16	16	16
	Horno 60°C (días)	3	3	3	3	3	3	3

RESULTADOS Y ANÁLISIS

1. HORMIGÓN DE ULTRA-ALTA RESISTENCIA (UHPC) CON RELACIÓN A/C = 0,25.

FABRICACIÓN:

En la tabla se observa como a medida que aumenta la cantidad de resinas acrílicas también lo hace la **trabajabilidad** de las amasadas, llegando a ser muy buena con cantidades superiores a **70 g/l** de. La **consistencia** es plástica en todas las amasadas, excepto la que contiene menor acrílico (**10 g/l**), siendo necesaria vibrarla con la mesa.

FABRICACIÓN (g/l)	BLOQUE 1 (A/C = 0.25)						
	Patrón 1	Amasada 3	Amasada 2	Amasada 1	Amasada 4	Amasada 5	Amasada 6
	PT. 1-2-3	P7-P8-P9	P4-P5-P6	P1-P2-P3	P10-P11-P12	P13-P14-P15	P16-P17-P18
Acrílico	0	10	25	50	70	85	100
Consistencia	Plástica	Seca	Plástica	Plástica	Plástica	Plástica	Plástica
Trabajabilidad	Buena	Buena	Buena	Buena	Muy buena	Muy buena	Muy buena
Vibrado	Vibrador	Vibrador	Vibrador	Mesa	Vibrador	Vibrador	Vibrador
Desenmoldado	24 horas	24 horas	24 horas	24 horas	24 horas	24 horas	24 horas
Curado (días)	10	3	8	8	16	16	16
Horno 60°C (días)	3	3	3	3	3	3	3

RESISTENCIA A FLEXIÓN:

Se realizará el ensayo a flexión y se obtendrá el **valor medio** de la rotura de las tres probetas de cada amasada.

La mayoría de las probetas realizadas durante los ensayos se han fractura por la mitad por lo que se deduce que se han repartido **uniformemente las cargas** .

Se observan más cantidad de **poros abiertos** en las probetas situadas en medio del molde debido a una deficiencia en su **vibrado** por la situación que ocupan. Así como zonas más claras debidas a la segregación de las resinas acrílicas durante su curado.



RESISTENCIA A FLEXIÓN:

Los datos obtenidos son:

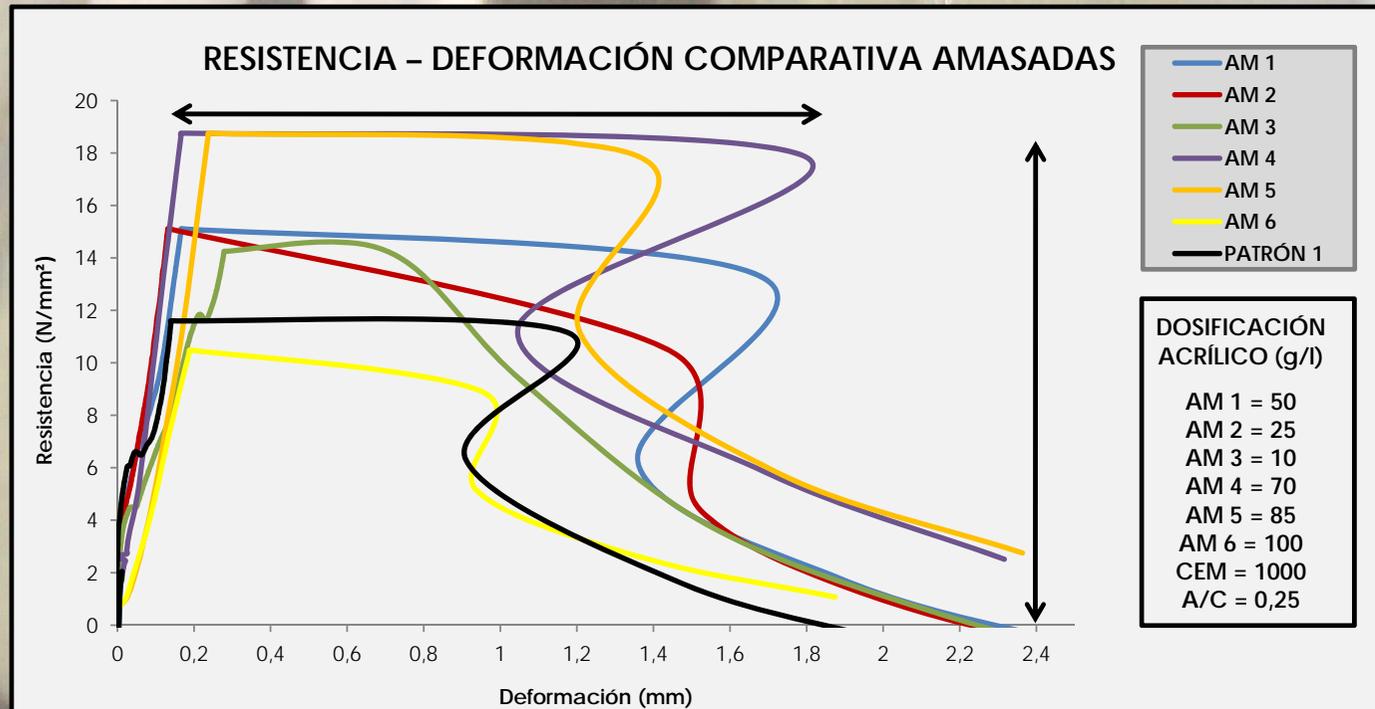


ENSAYO A FLEXIÓN	BLOQUE 1 [A/C = 0,25 CEM = 1000 g/l]						
	Patrón 1	Amasada 3	Amasada 2	Amasada 1	Amasada 4	Amasada 5	Amasada 6
	PT. 1-2-3	P7-P8-P9	P4-P5-P6	P1-P2-P3	P10-P11-P12	P13-P14-P15	P16-P17-P18
Acrílico	0	10	25	50	70	85	100
Resistencia (MPa)	14,73	13,08	13,45	13,88	18,06	17,43	10,40
Tensión (KN)	6,28	5,58	5,74	5,92	7,70	7,44	4,44
Deformación rotura (mm)	1,17	1,41	1,51	1,68	1,80	1,37	0,93
Tenacidad (mmMPa)	127,54	200,71	91,75	146,16	255,57	358,56	88,32

-Las **resistencias disminuyen** en comparación con la probeta patrón hasta que se le incorporan **70 g/l y 85 g/l** de resina acrílica, ya que con la máxima proporción ésta se satura alcanzando la mínima resistencia.

- Las **deformaciones** alcanzadas antes de su rotura tienden ha **aumentar** conforme lo hace la dosificación de acrílico empleado, hasta los 85 g/l amasada donde empieza a disminuir considerablemente.

RESISTENCIA A FLEXIÓN:



- AM 1
- AM 2
- AM 3
- AM 4
- AM 5
- AM 6
- PATRÓN 1

DOSIFICACIÓN ACRÍLICO (g/l)

AM 1 = 50
 AM 2 = 25
 AM 3 = 10
 AM 4 = 70
 AM 5 = 85
 AM 6 = 100
 CEM = 1000
 A/C = 0,25

DOSIFICACIÓN (g/l)	CEM I 52,5 R	AGUA	HUMO SÍLICE	ÁRIDO	SILICATO ALÚMINA	ADITIVO	ACRÍLICO	A/C
PATRÓN 1	1000	250	200	600	400	60	0	0,25
AMASADA 3		244					10	
AMASADA 2		235					25	
AMASADA 1		220					50	
AMASADA 4 ←		208					70 →	
AMASADA 5		199					85	
AMASADA 6		190					100	

RESISTENCIA A COMPRESIÓN:

Ensayo tan solo a uno de los **semiprismas** obtenidos en el ensayo a flexión, dejando el resto sin ensayar por si se quieren realizar posteriores estudios. Se obtendrá el **valor medio** de la rotura de estos tres semiprismas de cada amasada.

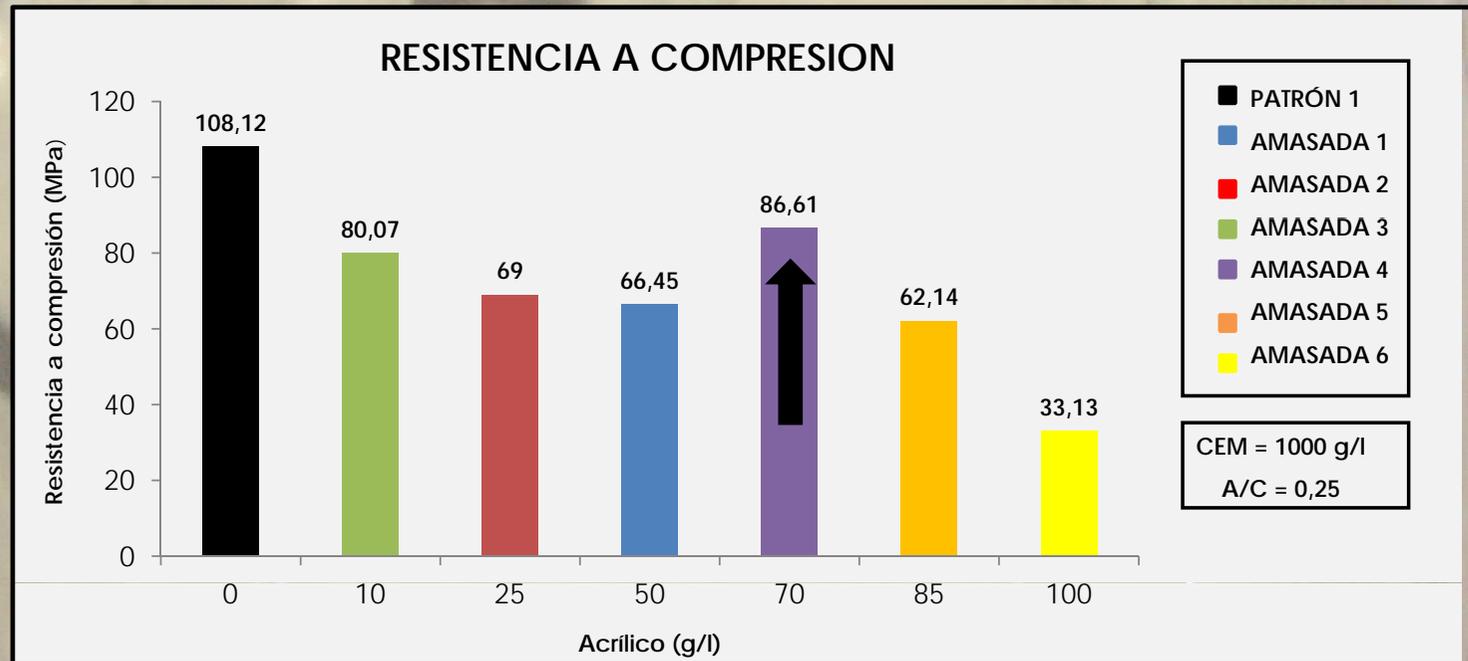
Los semiprismas se centraran lateralmente y longitudinalmente con relación a las placas de la máquina. El plano de apoyo del plato superior debe recaer en una cara completamente alisada (en **contacto con las paredes del molde**).

Conos invertidos tradicionales, por lo que ha habido una distribución de tensiones óptima.



RESISTENCIA A COMPRESIÓN:

ENSAYO A COMPRESIÓN	BLOQUE 1 (A/C = 0.25)						
	Patrón 1	Amasada 3	Amasada 2	Amasada 1	Amasada 4	Amasada 5	Amasada 6
	PT. 1-2-3	P7-P8-P9	P4-P5-P6	P1-P2-P3	P10-P11-P12	P13-P14-P15	P16-P17-P18
Acrílico	0	10	25	50	70	85	100
Resistencia (MPa)	108,11	80,07	69	66,45	86,61	62,14	33,13
Tensión (KN)	172,98	128,11	110,39	106,33	129,04	99,48	53,01



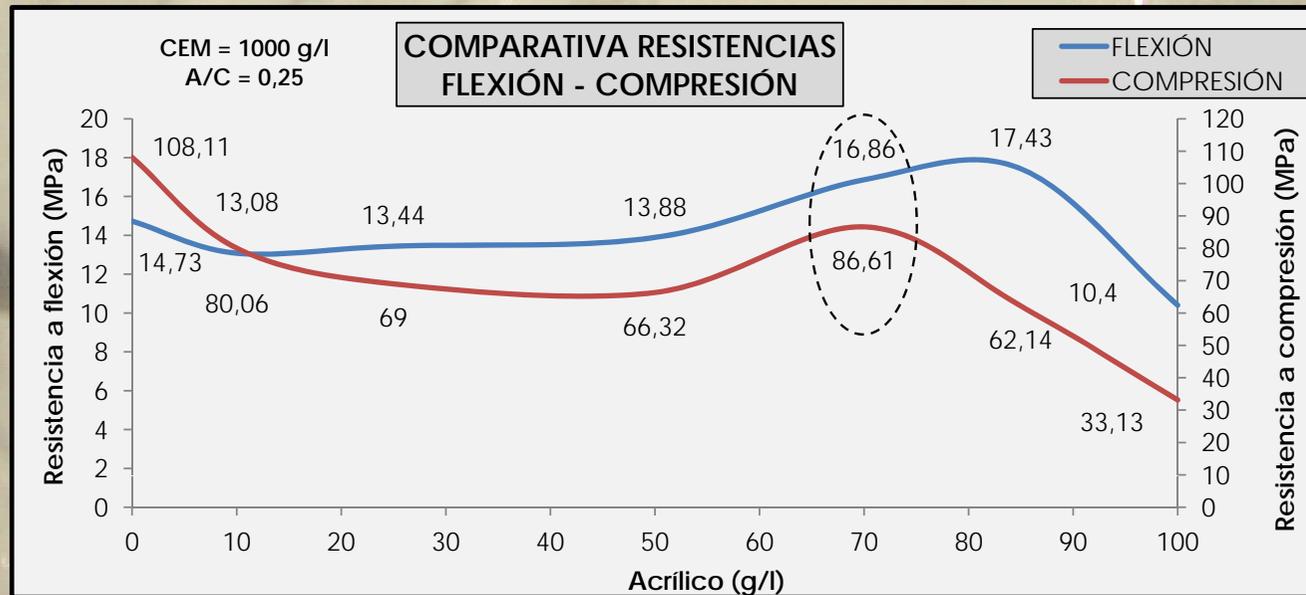
CONCLUSIONES DEL PRIMER BLOQUE CON UHPC:

Con la incorporación de resinas acrílicas en hormigones de ultra-alta resistencia se observa que:

-Hay **mejoras** importantes en la **trabajabilidad** del mortero fresco, siempre percibidas de manera visual.

-**Mejoras** en las resistencias a **flexión** conforme se aumenta el porcentaje de resinas acrílicas, obteniendo los mejores resultados entre los 70 y 85 g/l, ya que en los 100 g/l se produce una saturación y descenden los resultados.

-Las resistencias a **compresión no mejoran** en ningún momento respecto a la patrón.



2. PATRONES CON HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA (HPC)

Se realizarán diferentes dosificaciones de hormigones de altas prestaciones con **diferentes relaciones A/C** para comprobar su comportamiento en cuanto a trabajabilidad y resistencias, y así hallar la **dosificación óptima** para incorporar las resinas acrílicas.

FABRICACIÓN

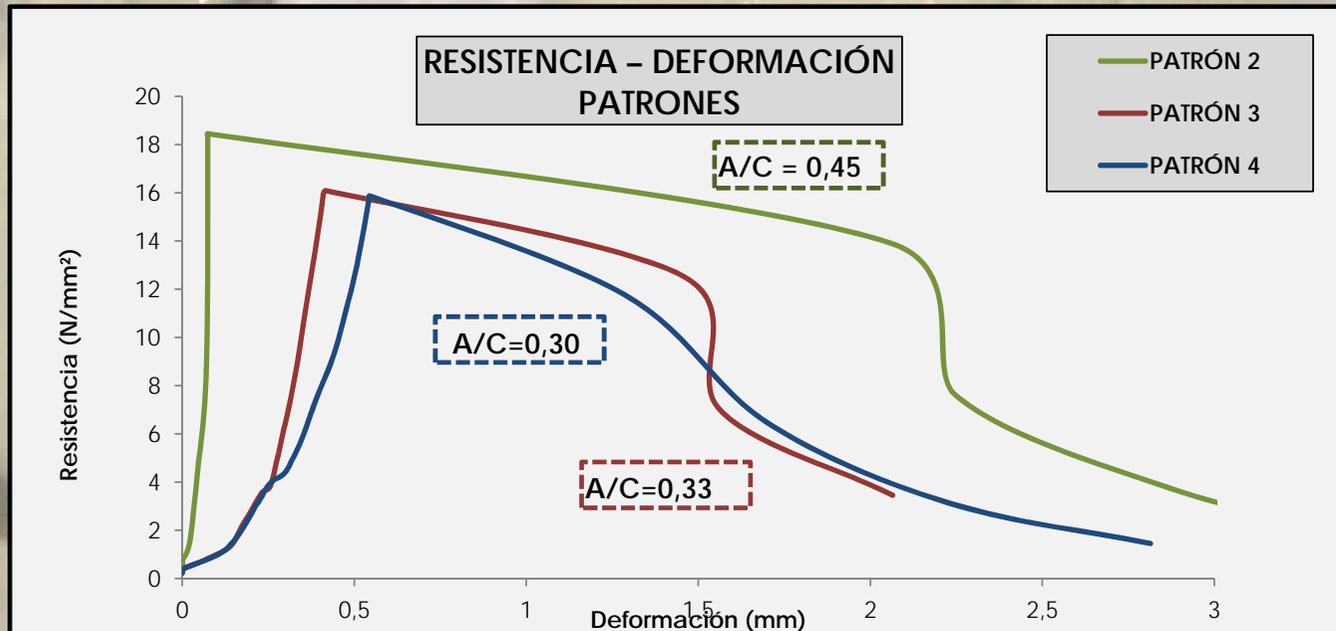
La **patrón 2** con mayor relación **A/C=0,45** es la que obtiene mejoras importantes en la trabajabilidad, puesto que tiene mayor cantidad de agua.

En la **patrón 3** y la **patrón 4**, debido a la disminución de la relación A/C, es necesario disminuir humo de sílice absorbe mucha agua, aun así siguen teniendo **trabajabilidades bajas**.

	Patrón 2	Patrón 3	Patrón 4
DOSIFICACIÓN (g/l)			
Cemento	500	500	500
Agua	225	165	150
Humo de sílice	200	100	100
Arena silícea	1100	1100	945
Silicato de alúmina	400	500	500
Aditivo	35	50	50
Acrílico	0	0	0
A/C	A/C = 0,45	A/C = 0,33	A/C = 0,30
FABRICACIÓN			
Consistencia	Muy plástica	Plástica	Seca
Trabajabilidad	Buena	Baja	Baja
Vibrado	Vibrador	Mesa	Vibrador
Desmold.	24 horas	24 horas	24 horas
Curado (días)	6	24	24
Horno 60°C (días)	3	3	3
Observaciones		Disminuir humo de sílice.	

RESISTENCIA A FLEXIÓN:

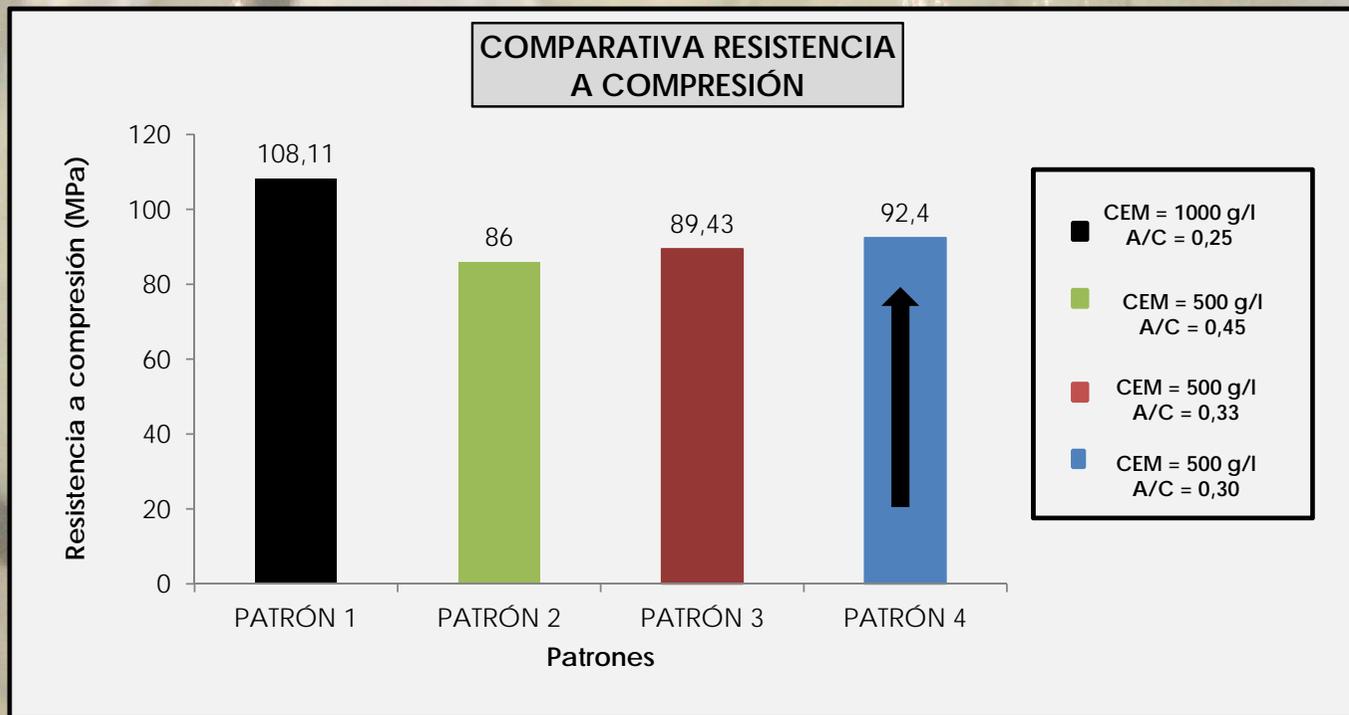
ENSAYO A FLEXIÓN	Patrón 2	Patrón 3	Patrón 4
	PT. 4-5-6	PT. 7-8-9	PT. 10-11-12
Resistencia (MPa)	17,68	16,08	16,37
Tensión (KN)	7,54	6,86	6,98
Deformación rotura (mm)	2,24	1,88	2,18
Tenacidad (mmMPa)	176,80	468,60	574,76



DOSIFICACIÓN (g/l)	CEM I 52,5 R	AGUA	HUMO SÍLICE	ÁRIDO	SILICATO ALÚMINA	ADITIVO	ACRÍLICO	A/C
PATRÓN 2	500	225	200	945	400	35	0	0,45
PATRÓN 3		165	100		500	50		0,33
PATRÓN 4		150	100		500	50		0,30

RESISTENCIA A COMPRESIÓN:

ENSAYO A COMPRESIÓN	Patrón 2	Patrón 3	Patrón 4
	PT. 4-5-6	PT. 7-8-9	PT. 10-11-12
Resistencia (MPa)	86,61	89,43	92,4
Tensión (KN)	138,58	143,06	147,53



Se elegirá la **patrón 4** por tener mayores resistencias a compresión con resistencias a flexión cercanas a las máximas obtenidas en la patrón 2.

3. HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA (HPC) CON RELACIÓN A/C = 0,30

FABRICACIÓN

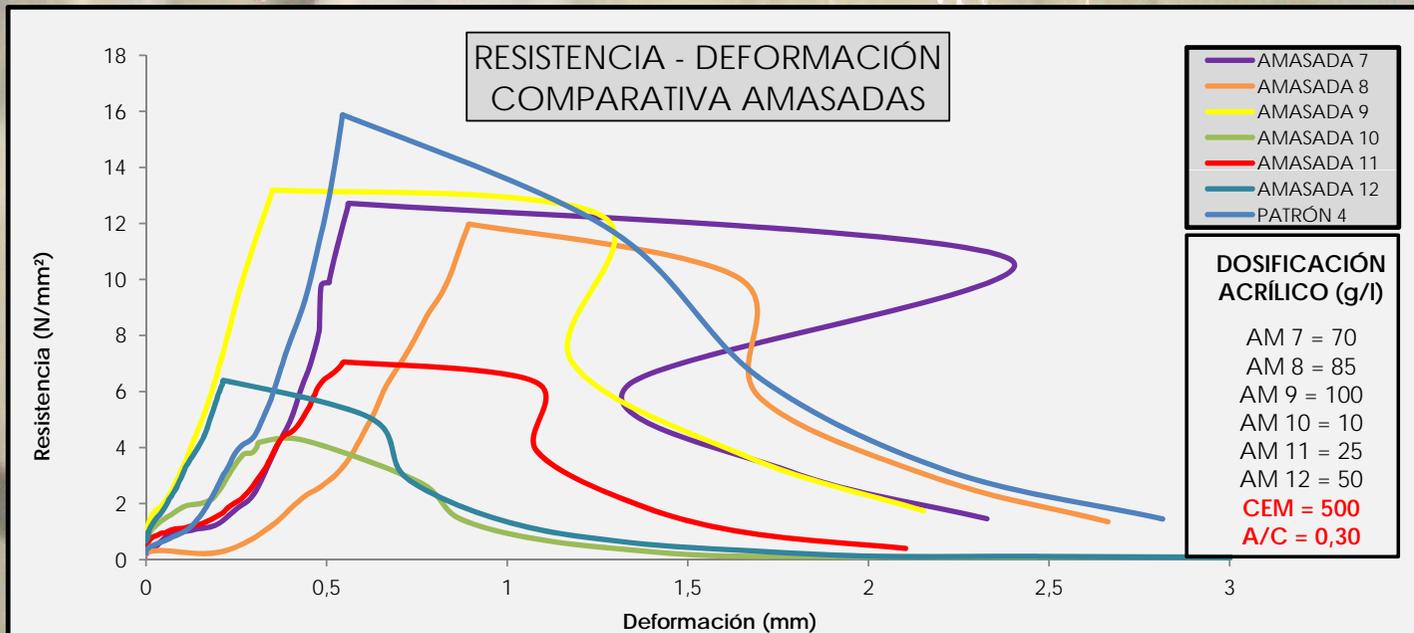
En la tabla se observa como aumenta la **trabajabilidad** de la amasada a partir de los 70 g/l de resinas acrílicas, con dosificaciones inferiores no se obtienen mejoras.

Es necesario **aumentar** los **días de curado** a partir de los 50 g/l.

		Patrón 4	Amasada 10	Amasada 11	Amasada 12	Amasada 7	Amasada 8	Amasada 9
		P.10-11-12	P28-P29-P30	P31-P32-P33	P34-P35-P36	P19-P20-P21	P22-P23-P24	P25-P26-P27
DOSIFICACIÓN (g/l)	Cemento	500	500	500	500	500	500	500
	Agua	150	144	135	120	108	99	90
	Humo de sílice	100	100	100	100	100	100	100
	Arena silícea	945	945	945	945	945	945	945
	Silicato de alúmina	500	500	500	500	500	500	500
	Aditivo	50	50	50	50	50	50	50
	Acrílico	0	10	25	50	70	85	100
	A/C	A/C = 0,3						
FABRICACIÓN	Consistencia	Seca	Muy seca	Muy seca	Seca	Seca	Plástica	Plástica
	Trabajabilidad	Baja	Baja	Baja	Baja	Buena	Buena	Buena
	Vibrado	Vibrador	Mesa	Vibrador	Vibrador	Vibrador	Vibrador	Vibrador
	Desenmoldado	24 horas	24 horas	48 horas				
	Curado (días)	24	3	3	3	16	16	4
	Horno 60°C (días)	3	3	3	3	3	3	3
	Observaciones	Necesidad de aumentar días de curado antes de desencofrar.						

ENSAYO A FLEXIÓN

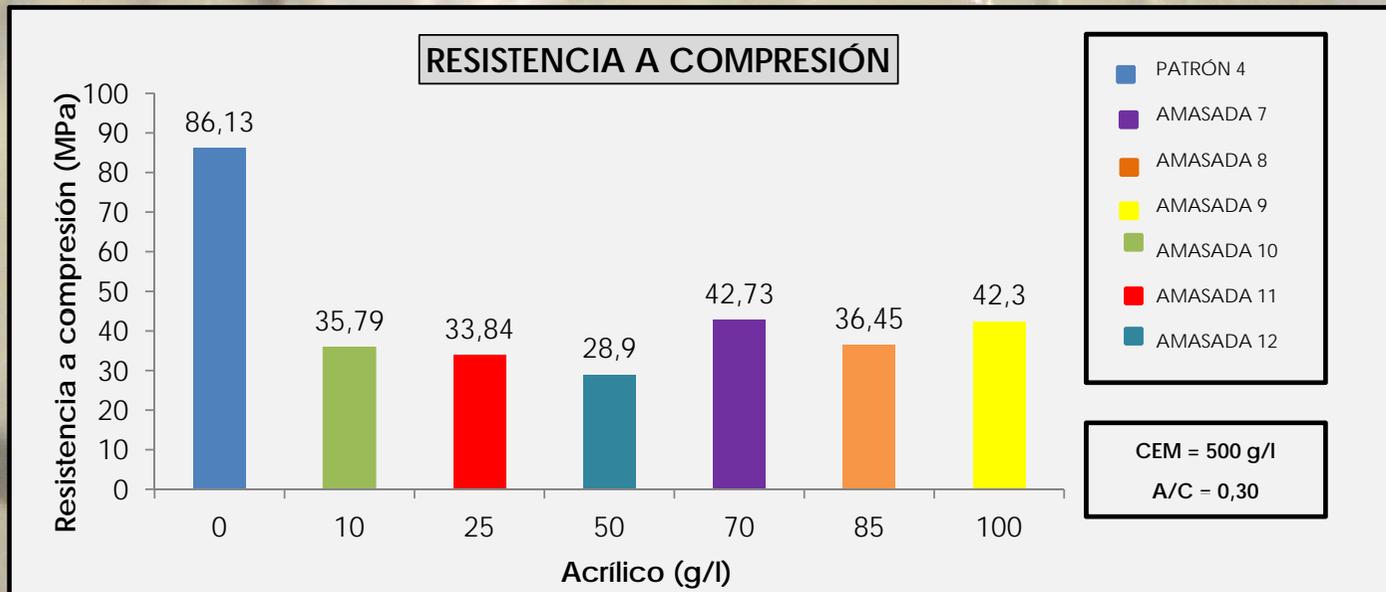
ENSAYO A FLEXIÓN	BLOQUE 2 [CEM = 500 g/l A/C = 0,30]						
	Patrón 4	Amas 10	Amas11	Amas12	Amas7	Amas8	Amas9
Acrílico	0	10	25	50	70	85	100
Resistencia (MPa)	16,37	4,29	6,9	6,52	12,58	11,92	12,79
Tensión (KN)	6,98	1,83	2,94	2,78	5,37	5,09	5,46
Deformación (mm)	2,18	0,86	1,35	1,13	2,39	1,69	1,26
Tenac. (mmMPa)	574,76	24,8	115,09	115,31	343,05	536,40	240,45



DOSIFICACIÓN (g/l)	CEM I 52,5 R	AGUA	HUMO SÍLICE	ÁRIDO	S. ALÚMINA	ADITIVO	ACRÍLICO	A/C
PATRÓN 4	500	150	100	945	500	50	0	0,30
AMASADA 10		244					10	
AMASADA 11		235					25	
AMASADA 12		220					50	
AMASADA 7		208					70	
AMASADA 8		199					85	
AMASADA 9		190					100	

ENSAYO A COMPRESIÓN

ENSAYO A COMPRESIÓN	BLOQUE 2 [CEM = 500 g/l A/C = 0,30]						
	Patrón 4	Amas 10	Amas 11	Amas 12	Amas 7	Amas 8	Amas 9
Acrílico	0	10	25	50	70	85	100
Resistencia (MPa)	92,4	35,79	33,85	28,9	42,73	36,46	42,3
Tensión (KN)	147,53	57,27	54,17	46,27	68,37	58,29	67,67



Se observa una **caída importante** de resistencia a compresión hasta los 50 g/l donde se recupera levemente, pero son disminuciones de mas del 50% en comparación con la probeta patrón.

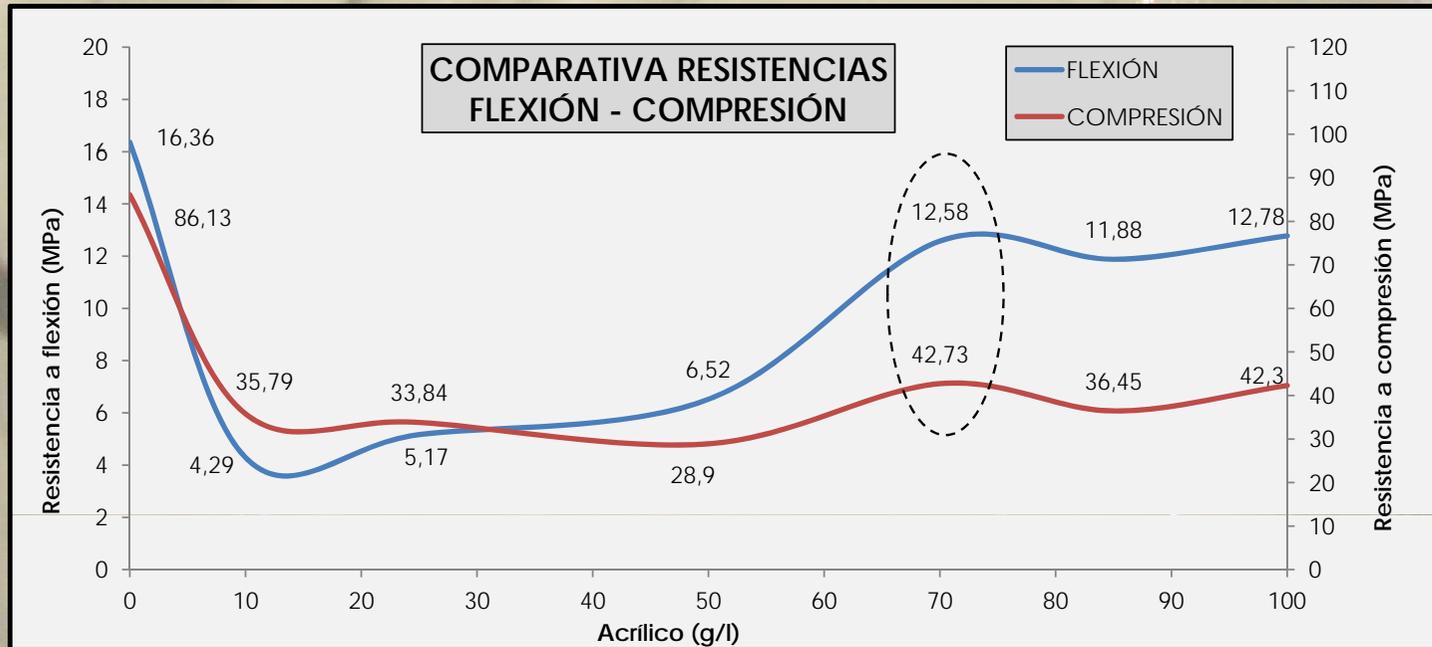
CONCLUSIONES DEL SEGUNDO BLOQUE CON HPC:

Con la incorporación de resinas acrílicas en hormigones de alta resistencia se observa que:

-Hay **mejoras** importantes en la **trabajabilidad** del mortero fresco a partir de los 70 g/l.

-**No existen mejoras** en las resistencias a **flexión**, conforme se aumenta el porcentaje de resinas acrílicas sí que se perciben mejoras, pero no superan a la amasada patrón de 500 g/l.

-Las resistencias a **compresión tampoco mejoran**, reduciéndose en **más del 50%**.



CONCLUSIONES:

TRABAJABILIDAD: Se obtienen mejoras, sobre todo en dosificaciones > 70 g/l

RESISTENCIAS A FLEXIÓN: Conforme se aumentaba el porcentaje de resinas acrílicas, tan solo se han obtenido datos levemente favorables en los hormigones con ultra-alta resistencia. Sin embargo en los hormigones con altas resistencias no se obtiene ninguna mejora.

RESISTENCIA A COMPRESIÓN: En ninguna de las amasadas obtenidas, tanto de UHPC como de HPC, se han superado las resistencias de los hormigones sin resinas.

De estos datos se deduce que la aplicación de resinas acrílicas **no mejoran las resistencias mecánicas** considerablemente , pero **no resulta rentable económicamente** utilizar morteros con dosificaciones tan resistentes.

FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

Sería necesario analizar los resultados obtenidos en el presente proyecto, haciendo hincapié en las mejoras obtenidas entre los 70 y 85 g/l que se incorpora de resinas acrílicas, mediante diferentes ensayos:

DIFRACCIONES CON RAYOS X: Para comprobar como están organizadas las estructuras internas y la fortaleza de sus enlaces, pudiendo entender mejor las propiedades físicas que se manifiestan en las probetas.

ENSAYOS DE TERMOGRAVIMETRÍA: Se comprobará la cantidad de cemento portland portland que se ha hidratado, es posible que las moléculas de resinas acrílicas hayan encapsulado a los granos de cemento, no permitiéndoles hidratarse correctamente con el agua

MICROGRAFÍAS SEM DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA: Con estas imágenes podremos comprobar la cantidad de cemento que se ha hidratado y las películas de acrílico que se han formado alrededor de éstas.

Es posible que sí que se alcancen mejoras importantes y factibles, tal y como afirmaban estos estudios, a los agentes químicos y a los productos corrosivos, teniendo un comportamiento excelente al paso del tiempo.



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



Escuela Técnica Superior de
Ingeniería de Edificación

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA EN LA EDIFICACIÓN

TALLER CIENTÍFICO – TÉCNICO: MATERIALES AVANZADOS

PROYECTO FINAL DE GRADO

HORMIGÓN DE MATRIZ MIXTA
CEMENTO - ACRÍLICO

ALUMNA: ADRIANA CASTELLESE MONZÓ

TUTORES: JOSÉ RAMÓN ALBIOL IBAÑEZ
LUIS V. GARCIA BALLESTER

Valencia, Septiembre de 2011