

## **COMPORTAMIENTO A RASANTE EN JUNTAS DE PIEZAS COMPUESTAS ENTRE HORMIGONES “IN SITU” Y PREFABRICADOS DE ALTA RESISTENCIA: SIN ARMADURA Y CON ARMADURA DE COSIDO.**



**Ángel Aragón<sup>1</sup>**



**José A. Martínez<sup>2</sup>**



**Ángel Rodríguez<sup>3</sup>**



**Juan M. Manso<sup>4</sup>**

### **RESUMEN**

Las piezas compuestas se elaboran con una parte prefabricada en hormigón armado o pretensado y otra vertida “in situ”. La utilización de la parte prefabricada permite la reducción del encofrado “in situ” y del cimbrado, al disponerse de un elemento con rigidez. La utilización del hormigón “in situ” genera la reducción de pesos en el transporte y montaje así como la posibilidad de restablecer el monolitismo en la estructura acabada. El inconveniente de las piezas compuestas es la presencia de una interfase o unión entre hormigones “in situ” y prefabricados, generalmente solicitada a tensión tangencial, y cuya resistencia condiciona el comportamiento solidario de la sección. Se han realizado ensayos de investigación para verificar los mecanismos de transferencia, en modelos sin y con armadura de cosido y diferentes tratamientos de la superficie de contacto.

### **PALABRAS CLAVE**

Rasante, Hormigón, Prefabricados, Juntas, Cortante-Fricción.

<sup>1</sup> Universidad de Burgos, Departamento de Ingeniería Civil, 09001 Burgos, España. [aragont@ubu.es](mailto:aragont@ubu.es)

<sup>2</sup> Universidad de Burgos, Departamento de Ingeniería Civil, 09001 Burgos, España. [jamartinez@ubu.es](mailto:jamartinez@ubu.es)

<sup>3</sup> Universidad de Burgos, Departamento de Construcciones Arquitectónicas, 09001 Burgos, España. [arsaizmc@ubu.es](mailto:arsaizmc@ubu.es)

<sup>4</sup> Universidad de Burgos, Departamento de Ingeniería Civil, 09001 Burgos, España. [jmmanso@ubu.es](mailto:jmmanso@ubu.es)

## **1. INTRODUCCIÓN**

Las investigaciones sobre piezas compuestas, construidas con una parte prefabricada y otra vertida “in situ”, comenzaron a mediados del siglo pasado dado el interés por su utilización, al tratarse de elementos semiindustrializados y con un campo de uso muy amplio. Una de las preocupaciones que surge desde los primeros momentos fue la adecuada transmisión de esfuerzos entre los dos materiales ejecutados en edades diferentes. En la actualidad, los mecanismos de transferencia del esfuerzo rasante son conocidos con buena aproximación y las normas vigentes así lo tratan.

La utilización de la parte prefabricada permite obtener múltiples ventajas, entre las que destacan, la reducción del encofrado a realizar “in situ” y la reducción del cimbrado o apeos provisionales, al disponerse de un elemento con resistencia y rigidez adecuada para ser consideradas en fases provisionales del montaje de la estructura. Se consigue en general una reducción del tiempo de construcción, y por consiguiente un ahorro económico.

La utilización del hormigón “in situ”, también representa ventajas de orden constructivo y de orden técnico, señalando fundamentalmente, la reducción de pesos en el transporte y montaje así como la posibilidad de restablecer el monolitismo en la estructura acabada.

Pero frente a tales ventajas existe un inconveniente que condiciona el comportamiento de las piezas compuestas y es la presencia de una interfase o unión entre hormigones “in situ” y prefabricados, generalmente solicitada a tensión tangencial contenida en ese plano de contacto y cuya resistencia condiciona el comportamiento solidario de la sección.

## **2. OBJETIVO Y ANTECEDENTES**

### **2.1 Objetivo**

El objetivo no es otro que ampliar y contrastar los conocimientos de los mecanismos de transferencia del esfuerzo rasante en juntas entre hormigones, especialmente, cuando uno de ellos (siempre el de mayor edad) es un hormigón de altas resistencias (80 - 100 MPa). Se han realizado ensayos con modelos sin armadura de cosido y diferentes tratamientos de la superficie de contacto (Lisa, Normal y Rugosa), y modelos con diferentes cuantías de armadura de cosido y superficie de contacto con rugosidad normal.

Se han realizado dos series de ensayos. La Serie 1 consta de ocho modelos con 6 conjuntos cada uno, donde se han variado las tipologías de hormigones empleados y la rugosidad de la superficie de contacto. El objetivo es analizar la influencia del hormigón de alta resistencia de la parte prefabricada y verificar los coeficientes de rugosidad de la superficie de contacto.

La Serie 2 consta también de ocho modelos de 6 conjuntos empleando siempre el mismo tipo de hormigón, H-80 para la parte prefabricada y H-30 para el hormigón vertido “in situ”, una rugosidad normal para la superficie de contacto y variando la cuantía de la armadura de cosido. El objetivo es verificar la contribución de la armadura de cosido a la resistencia de esfuerzos tangenciales en la junta de hormigonado.

### **2.2 Antecedentes**

La transferencia del rasante entre hormigones “in situ” y prefabricado en piezas compuestas puede ser realizado según mecanismos que se desarrollan cronológicamente [1]:

Mecanismo 1º: “ADHESIÓN: Movilización de la cohesión interna entre los dos hormigones”. La contribución a la resistencia tangencial de la unión se basa en la adhesión entre las partículas del

hormigón de primera fase con la lechada o fase fluida del hormigón “in situ” de la segunda fase de hormigonado, y en la imbricación o trabazón que se constituye entre los dos hormigones al penetrar la lechada del mortero en los poros de la superficie sobre la que se hormigona la segunda fase y posterior endurecimiento de tales llaves de lechada [2 y 3].

Mecanismo 2º: “LLAVES DE CORTANTE: Movilización de las fuerzas de corte entre zonas rugosas, naturales o artificiales, creadas entre los hormigones”. Se desarrolla debido a la presencia de almenados artificialmente desarrollados, o rugosidades naturalmente creadas. Para movilizar este mecanismo se precisa que se impida la separación física de las partes, o lo que es lo mismo, el desplazamiento relativo de las mismas perpendicular al plano de la unión [4].

Mecanismo 3º: “CORTANTE-FRICCIÓN: Movilización de fuerzas de rozamiento en superficies que se solicitan a estados de sollicitación tangencial”. Si se impide el despegue o desplazamiento relativo de las partes de la pieza compuesta, en dirección normal al plano de la unión, las superficies rugosas, natural o artificialmente creadas, son susceptibles de desarrollar fuerzas de rozamiento [5].

Mecanismo 4º: “EFECTO PASADOR: Movilización del efecto pasador de las armaduras que atraviesan el plano de contacto”. La resistencia transversal de la unión en este caso está condicionada por la resistencia a corte de las barras y por la resistencia al aplastamiento del hormigón que reacciona contra el pasador. Este mecanismo de transferencia es semejante al que presentan los conectores de los elementos mixtos hormigón y acero [6].

Diferentes normas y recomendaciones técnicas establecen los procedimientos de cálculo de las secciones compuestas, fijando los criterios a que deben ajustarse tanto la comprobación de tensiones tangenciales en las interfases como los valores límites de dichas tensiones en función de condiciones específicas de ejecución. La normativa española EHE [7] en su Artículo 47º “Estado Límite de Agotamiento por esfuerzo rasante en juntas entre hormigones”, trata el esfuerzo rasante producido por la sollicitación tangencial a la que se ve sometida una junta entre hormigones ‘Fig. 1’.

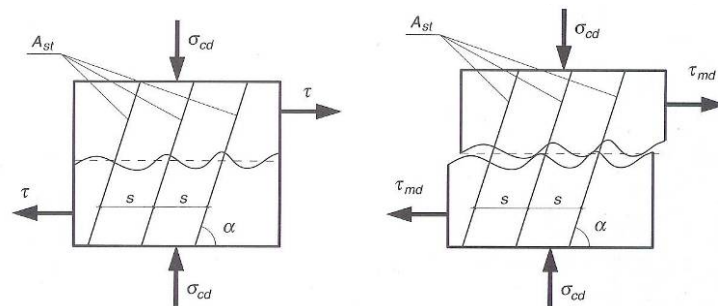


Figura 1. Estado límite de agotamiento por esfuerzo rasante.

La tensión rasante que sollicita la junta en la sección debe cumplir ‘Ec. (1)’:

$$\tau_{md} \leq \beta \cdot f_{ct,d} + \frac{A_{st}}{sp} \cdot f_{y\alpha,d} \cdot (\mu \cdot \text{sen} \alpha + \cos \alpha) + \mu \cdot \sigma_{cd} \geq 0.25 \cdot f_{cd} \quad (1)$$

### 3. MODELO Y MEDIOS DE ENSAYO

#### 3.1 Modelo de Ensayo adoptado

El modelo empleado en esta investigación, es un conjunto formado por dos pastillas prefabricadas de sección 10 x 8 cm y 30 cm de altura (hormigón prefabricado de alta resistencia), y un núcleo central de 16 x 10 cm de sección, con una altura de 28 cm (hormigón vertido “in situ”) que une ambas

### *Comportamiento a rasante en juntas de piezas compuestas entre hormigones “in situ” y prefabricados de alta resistencia: sin armadura y con armadura de cosido*

pastillas. Esta unión genera dos planos de junta entre hormigones. Modelo de ensayo del tipo definido como “Push-off” en la bibliografía [8 y 9].

Las pastillas son fabricadas con una amasada de hormigón de alta resistencia (H80), mediante su vertido en 12 moldes y compactadas en mesa vibrante. También fabricamos de la misma amasada tres probetas cilíndricas para comprobar la resistencia del hormigón ‘Fig. 2’.

Las pastillas se introducen por parejas en 6 moldes del tamaño final del conjunto y después se vierte el hormigón “in situ” (H30) del núcleo en el hueco intermedio dejado por ambas pastillas procurando dejar los 2 últimos centímetros del molde sin rellenar ‘Fig. 3’.

Los conjuntos son curados en la cámara húmeda durante 28 días desde el hormigonado “in situ”, tras los que se procede a su ensayo colocandolo en la prensa girado 180° en unas bases de neopreno que absorban las irregularidades del hormigón, y encima un bloque de acero para transmitir la carga ‘Fig. 4’.

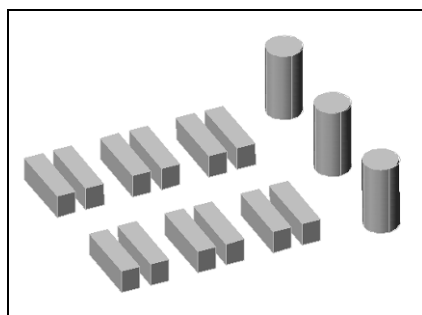


Figura 2. Fabricación  
Pastillas.

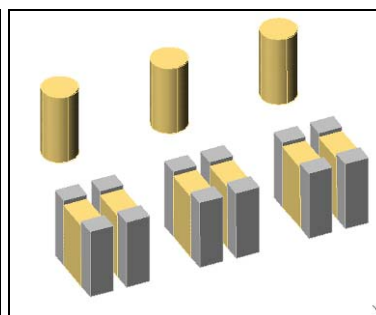


Figura 3. Fabricación  
Conjuntos.

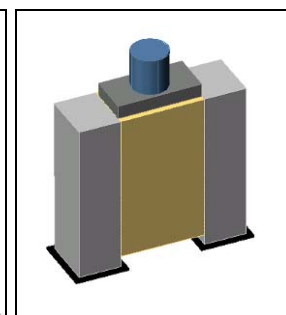


Figura 4. Posición  
de Ensayo.

## **3.2 Medios Empleados**

Hemos clasificados los medios empleados para la realización de los ensayos en dos categorías: Materiales e Instrumentales.

### **3.2.1 Medios Materiales**

Hemos utilizado dos clases de cemento, CEM I-52.5 R para la prefabricación de las pastillas de alta resistencia, y CEM II-32.5 N para la fabricación del núcleo “in situ” de los conjuntos. Utilizamos arena silíceá rodada con tamaño mín/máx 0/4 mm y árido calizo con tamaño mín/máx 6/12 mm. Se ha utilizado agua potable de la red de abastecimiento de la ciudad de Burgos. Se ha empleado el superplastificante GLENIUM 52 y la suspensión de nanosílice MEYCO MS 685, para elaborar el hormigón de alta resistencia de las pastillas.

El acero empleado para armar nuestros modelos fue de diferentes tipos y procedente de distintas fabricas: el acero corrugado de  $\varnothing$  6 mm,  $\varnothing$  8 mm (B-500-SD ) y la celosía, fueron facilitadas por Vigas Armadas y Pretensadas S.A., y el alambre liso de  $\varnothing$  3 mm fue facilitado por Rubiera Burgos S.A.

Los resultados de la rotura a compresión de las probetas cilíndricas de los hormigones empleados en la Serie 1 se recogen en las Tablas 1 y 2, estando ordenada cada columna por tipología y amasada de hormigón.

Los hormigones fabricados en la Serie 2 dieron una gran uniformidad. En las 8 amasadas del hormigón de altas resistencias (H-80) empleado en las pastillas prefabricadas, el valor medio de rotura fue de 79.4 MPa con una desviación de 3.3 MPa. Con relación al hormigón vertido “in situ” (H-30)

del núcleo la situación fue similar, el valor medio de rotura fue de 31.6 MPa con una desviación de 1.5 MPa.

Tabla 1. Resistencia a compresión de los hormigones prefabricados de la Serie 1.

	<i>Pastillas H-100</i>				<i>Pastillas H-80</i>				
	<i>Amasada</i>	<i>B</i>	<i>E</i>	<i>A</i>	<i>C</i>	<i>G</i>	<i>I</i>	<i>K</i>	<i>M</i>
Probeta 1		83.4	103.7	81.8	92.4		85.1	86.4	86.6
Probeta 2		98.1	106.8	80.4	90.9	81.7	81.0	88.5	87.6
Probeta 3			107.8	81.0		87.6	87.6	86.1	88.0
Valor Medio (MPa)		90.8	106.1	81.1	91.7	84.7	84.6	87.0	87.4

Tabla 2. Resistencia a compresión de los hormigones “in situ” de la Serie 1.

	<i>Amasada</i>	<i>Núcleo H-40</i>				<i>Núcleo H-25</i>			
		<i>H</i>	<i>J</i>	<i>P</i>	<i>Q</i>	<i>D</i>	<i>F</i>	<i>L</i>	<i>N</i>
Probeta 1		38.3	39.6	39.1	34.7	34.2	26.4	34.0	35.1
Probeta 2		35.4	40.0	39.0		29.1	26.3	33.7	35.0
Probeta 3		38.5	39.3	38.6	35.4	36.2	26.9	33.7	33.8
Valor Medio (MPa)		37.4	39.6	38.9	35.1	33.2	26.5	33.8	34.6

### 3.2.2 Medios Instrumentales

Para realizar las amasadas con las que se fabrican las probetas cilíndricas y los conjuntos de ensayo, el taller cuenta con una amasadora móvil de eje vertical de 200 litros y para un adecuado curado una cámara húmeda (20 °C  $\pm$ 2 de temperatura y un 95 %  $\pm$ 5 de humedad), cuyas dimensiones interiores son 3 x 2 m<sup>2</sup> y que permite guardar simultáneamente unas 200 probetas cilíndricas y 50 conjuntos.

Para el ensayo de resistencia a compresión de las probetas y el ensayo de los conjuntos hemos utilizado la prensa modelo “MES 300” con una capacidad de 3000 kN. Otros medios utilizados han sido: estufa, refrentador, mesa vibrante, vibrador manual de aguja, básculas, gatos para el apriete, células de carga, bandas extensométricas, extensómetros, equipo de medida y videocámara.

## 4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Los ensayos comienzan con la prefabricación de las pastillas con hormigón de alta resistencia, y una semana después se fabrican los conjuntos con el vertido “in situ” del núcleo. Se establece que siempre haya un período de una semana entre la prefabricación de pastillas y la fabricación de los conjuntos. La rotura se determina a las 4 semanas (28 días) de la fabricación del conjunto. La planificación se desarrolla por semanas para hacer mejor el seguimiento.

La rotura se inicia primero con las probetas cilíndricas de hormigón de alta resistencia (3 uds.), y después las correspondientes al hormigón vertido “in situ” (3 uds.). Luego se procede al ensayo a rotura de los conjuntos, conociendo ya el valor característico de la resistencia de los hormigones empleados en su fabricación.

La Serie 1 sin armadura de cosido, trata de validar el primer término ‘Ec. (1)’ concerniente a la cohesión entre hormigones. Las variables consideradas fueron: Hormigón de alta resistencia de las pastillas prefabricadas, Hormigón vertido “in situ” del núcleo y Rugosidad de la junta. En la Tabla 3 se detallan los 8 modelos fabricados en esta Serie 1. En las Figura 5 a 7 se muestran los diferentes tratamientos de la superficie de contacto.

La Serie 2 con armadura de cosido, trata de validar el segundo término ‘Ec. (1)’ concerniente a la armadura que atraviesa el plano de la junta. Hay que tener en cuenta que la resistencia de esta Serie 2 viene determinada por la contribución de dos términos ‘Ec. (1)’, la cohesión entre hormigones y la armadura de cosido. Se mantienen constante los hormigones empleados en pastillas (H-80) y núcleo

*Comportamiento a rasante en juntas de piezas compuestas entre hormigones “in situ” y prefabricados de alta resistencia: sin armadura y con armadura de cosido*

(H-30), así como la rugosidad de la junta (Normal). De esta forma, el primer término ‘Ec. (1)’ de cohesión entre hormigones se mantiene constante para toda la Serie 2.

Tabla 3. Modelos de la Serie 1.

<i>Modelo</i>	<i>Hormigón Pastillas</i>	<i>Hormigón Núcleo</i>	<i>Rugosidad</i>
1 – AD	H-80	H-30	Normal
2 – BF	H-100	H-30	Normal
3 – CH	H-80	H-40	Normal
4 – EJ	H-100	H-40	Normal
5 – GL	H-80	H-30	Lisa
6 – IN	H-80	H-30	Rugosa
7 – KP	H-80	H-40	Lisa
8 – MQ	H-80	H-40	Rugosa



Figura 5. Normal



Figura 6. Lisa



Figura 7. Rugosa

Las variables consideradas en la Serie 2 fueron: Diámetro de las barras de cosido, Número de barras y Ángulo formado por las barras con el plano de la junta. En la Tabla 4 se detallan los 8 modelos fabricados en esta Serie 2. En la Figura 8 se muestra la armadura de cosido empleada.

Tabla 4. Modelos de la Serie 2.

<i>Modelo</i>	<i>Diámetro</i>	<i>Número</i>	<i>Ángulo</i>
1 – AD	6 y 8	2	90°
2 – BF	6 y 8	2	90°
3 – CH	6 y 8	4	90°
4 – EJ	6 y 8	4	90°
5 – GL	Celosía	1 y 2	60° - 120°
6 – IN	Celosía	1 y 2	60° - 120°
7 – KP	3 Liso	2 y 4	90°
8 – MQ	3 Liso	2 y 4	90°

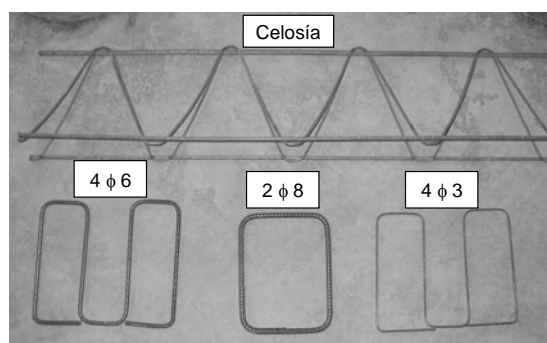


Figura 8. Armadura de cosido empleada en la Serie 2.

En esta Serie 2 se instrumenta un conjunto de cada modelo. Se pegaron previamente al hormigonado del núcleo bandas extensométricas sobre las armaduras dispuestas en las pastillas, para medir la deformación y en consecuencia la resistencia desarrollada por las armaduras durante el ensayo. A la hora de hacer el ensayo, se colocaron cuatro extensómetros sobre el conjunto para poder medir el desplazamiento relativo en ambas juntas ‘Fig. 9’.

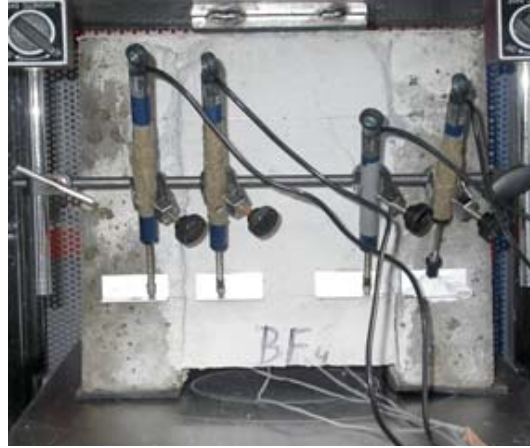


Figura 9. Ensayo de un conjunto instrumentado en la Serie 2.

## 5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 5.1 Serie 1 “Sin armadura de cosido”

La Serie 1 intenta comprobar la respuesta frente a los primeros mecanismos resistentes, principalmente la cohesión entre hormigones. Los resultados se adjuntan en la Tabla 5 donde la columna Rasante representa el valor de la carga de rotura dividido por la superficie de las dos juntas que se generan en el modelo. La columna Hormigón contiene el valor de la resistencia característica media a tracción del hormigón más débil del modelo (el vertido “in situ”), obtenido según la norma EHE. Por último, la columna Rugosidad se calcula dividiendo el valor de la columna Rasante entre la columna Hormigón, siguiendo la expresión ‘Ec. (1)’ de la norma EHE.

Tabla 5. Resumen resultados de la Serie 1.

<i>Modelo</i>	<i>Rasante (MPa)</i>	<i>Hormigón <math>f_{ct,m}</math> (MPa)</i>	<i>Rugosidad <math>\beta</math></i>
1 – AD	0.38	3.10	0.12
2 – BF	0.38	2.67	0.14
3 – CH	0.53	3.36	0.16
4 – EJ	0.94	3.49	0.27
5 – GL	0.28	3.14	0.09
6 – IN	1.24	3.19	0.39
7 – KP	0.23	3.44	0.07
8 – MQ	1.05	3.22	0.32

A la vista de los resultados contenidos en la Tabla 5, el hormigón de alta resistencia influye sobre el rasante fundamentalmente por su consistencia. Para obtener un hormigón H-100 la dosificación es más seca, lo que origina una superficie de contacto más rugosa con la misma vibración para su compactación. El efecto de los diferentes tipos de hormigón “in situ” tiene una repercusión mínima y difícilmente apreciable. A nuestro entender, la variable más significativa de la Serie 1 es la rugosidad de la superficie de contacto.



## 5.2 Serie 2 “Con armadura de cosido”

En la Serie 2 el estudio se centra en la contribución de la armadura para transmitir esfuerzo rasante a través de la junta. Para ello se mantienen constantes los hormigones empleados en pastillas (H-80) y núcleo (H-30), así como la rugosidad de la junta (Normal), de esta forma, la contribución por la cohesión entre hormigones se mantiene constante para toda la Serie 2, y solo se diferencian entre sí en el término cuyo efecto se quiere estudiar.

De cada modelo se obtiene una gráfica ‘Fig. 10’ que contiene los resultados de los ensayos de los 6 conjuntos. Los resultados están decalados para evitar su solape y poder realizar un análisis mejor. El primer pico acentuado que se observa representa el despegue de la junta, es decir, la contribución por cohesión entre hormigones. Los tres primeros conjuntos están armados con 2 Ø 6 mm y los tres segundos con 2 Ø 8 mm.

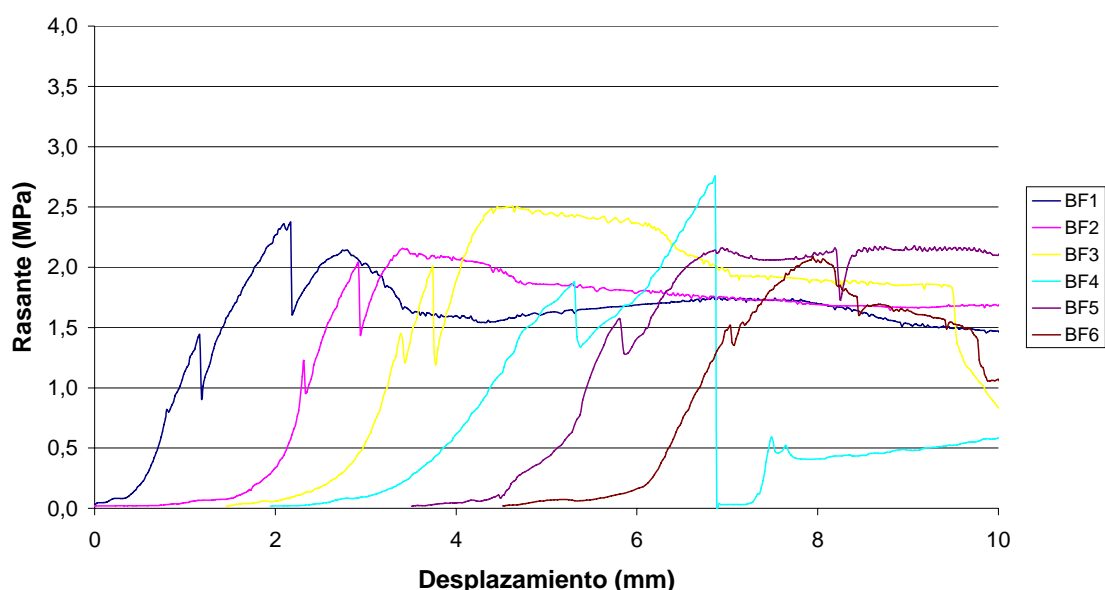


Figura 10. Resultados del modelo BF de la Serie 2.

Los resultados se adjuntan en la Tabla 6 donde la columna Rasante Hormigón representa el valor para el cual se produce el despegue de la junta. La columna Rasante Último es el máximo resistido y la columna Rasante Teórico se ha calculado según la expresión ‘Ec. (1)’ de la norma EHE.

Tabla 6. Resumen resultados en MPa de la Serie 2.

<i>Modelo</i>	<i>Rasante Hormigón</i>	<i>Rasante Último</i>	<i>Rasante Teórico</i>
2 Ø 6	1.22	2.16	1.08
2 Ø 8	1.47	2.08	1.46
4 Ø 6	1.51	2.90	1.57
4 Ø 8	1.74	3.45	2.32
1 Celosía	0.74	1.31	0.97
2 Celosías	1.35	2.57	1.35
2 Ø 3 Liso	0.74	0.81	0.72
4 Ø 3 Liso	0.91	1.16	0.84

Como se ha comentado anteriormente, las amasadas realizadas en la Serie 2 fueron muy regulares y con una gran homogeneidad de la resistencia, lo que permite determinar como contribución del hormigón al esfuerzo rasante el valor aproximado de 0.60 MPa. Del análisis de los resultados se



observa el aumento de la contribución por cohesión del hormigón, en función de la cuantía de armadura dispuesta en el plano de la junta y que cose a ésta.

El análisis de los datos obtenidos de los conjuntos instrumentados determinan que la armadura no entra en carga hasta que no se produce el despegue de la junta, es decir, el rasante absorbido por la cohesión entre hormigones se transfiere a la armadura de cosido. Por este motivo, la deformación de las bandas extensiométricas se mantiene nula hasta el despegue de la junta, y después se produce una entrada en carga brusca que determina la transferencia a la armadura 'Fig. 11'.

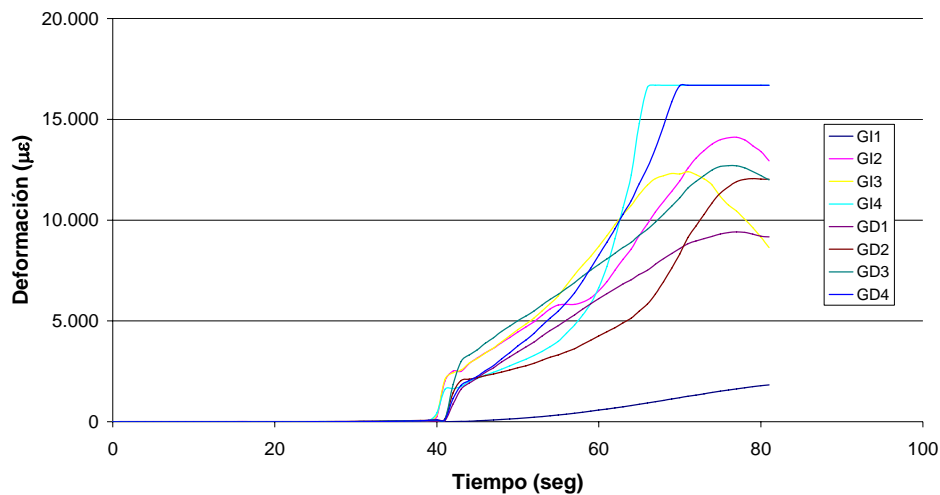


Figura 11. Resultados bandas extensiométricas conjunto instrumentado.

## 6. CONCLUSIONES

En la Serie 1 se trataba de validar el primer término de la expresión 'Ec. (1)' concerniente a la cohesión entre hormigones. La principal conclusión es que el coeficiente de rugosidad es la variable más significativa, la cual está también relacionada con la consistencia del hormigón prefabricado. Se propone clasificar el coeficiente de rugosidad "β" según la siguiente Tabla 7.

Tabla 7. Propuesta Coeficiente de Rugosidad "β"

<i>Tipo de Superficie</i>	<i>Consistencia Hormigón</i>	<i>Coef. Rugosidad "β"</i>
Rugosidad Lisa	Fluída	0.1
Rugosidad Normal	Blanda o Plástica	0.2
Rugosidad Alta	Seca	0.4

En la Serie 2 se trataba de validar el segundo término de la expresión 'Ec. (1)' concerniente a la armadura de cosido. La principal conclusión que se establece es el aumento de la contribución por cohesión del hormigón, en función de la cuantía de armadura dispuesta en el plano de la junta. Para calcular el rasante resistido por la junta, cuando se dispone de armadura de cosido, antes de llegar a fisurarse y en función de la cuantía de armadura, se propone como expresión 'Ec. (2)':

$$\tau_{md} \leq \beta \cdot f_{ct,d} \cdot \lambda_c \neq 0.25 \cdot f_{cd} \quad (2)$$

donde "λ<sub>c</sub>" se define como un coeficiente corrector según la cuantía de armadura y cuyo valor se obtiene como 'Ec. (3)':

$$\lambda_c = 18 \cdot \sqrt[3]{\frac{A_{st}}{s \cdot \rho} (\mu \cdot \sin \alpha + \cos \alpha)} \geq 1 \quad (3)$$

*Comportamiento a rasante en juntas de piezas compuestas entre hormigones “in situ” y prefabricados de alta resistencia: sin armadura y con armadura de cosido*

En general se detectó que el rasante resistido por la armadura dispuesta en los diferentes modelos, es muy superior al que establece la norma EHE. Para calcular el rasante resistido por la junta, cuando se dispone de armadura de cosido, una vez fisurada y transferido el rasante debido a la cohesión entre hormigones a la armadura transversal de la junta, se propone la expresión siguiente ‘Ec. (4)’:

$$\tau_{md} \leq \frac{A_{st}}{s_p} f_{y\alpha,d} (\mu \cdot \operatorname{sen} \alpha + \cos \alpha) \lambda_s \geq 0.25 f_{cd} \quad (4)$$

donde “ $\lambda_s$ ” se define como un coeficiente de ajuste cuyo valor se aproxima al triple del establecido por la norma EHE ( $\lambda_s \approx 3$ ).

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer la financiación recibida por la Junta de Castilla y León para el Proyecto “Transferencia de tensiones rasantes en hormigones de alta resistencia”, enmarcada en la convocatoria de la Consejería de Educación y Cultura de 26 de abril de 2000 (BOCyL 17 de mayo de 2000) y cofinanciada con el Fondo Social Europeo (F.S.E.). También agradecer la colaboración de los miembros del Grupo de Investigación en Tecnología del Hormigón Estructural (GITHE) de la Universidad de Burgos.

## REFERENCIAS

- [1] ARAGÓN TORRE, A. - Investigación de los mecanismos de transferencia de tensiones rasante en juntas de piezas compuestas entre hormigones “in situ” y prefabricados de alta resistencia. Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Burgos, 2007. 196 p. Tesis Doctoral.
- [2] FELT, E.J. - Resurfacing and patching concrete pavement with bonded concrete. Highway Research Board Proceeding, 1956. 35 p.
- [3] HANSON, N.W. - Precast prestressed concrete bridges 2. Horizontal shear connections. Journal, PCA. Research and Development Laboratories, 1960, 38-57 p.
- [4] NASSER, K.W. - Behaviour of shear keys and ordinary concrete surface under fatigue and static overloading. Journal of the PCI, 1966.
- [5] MATTOCK, A.H. - Shear transfer in concrete having reinforcement at an angle to the shear plane. American Concrete Institute. Publication SP-42: Sear in Reinforced Concrete. Detroit, 1974, 17-42 p.
- [6] MAST, R.F. - Auxiliary reinforcement in concrete connections. J. of Struct. Div., Proc., ASCE, 94(6), 1968, 1485-1504 p.
- [7] EHE "Instrucción de Hormigón Estructural" - Artículo 47º Estado Límite de Agotamiento por esfuerzo rasante en juntas entre hormigones. Ministerio de Fomento. Secretaría General Técnica, 1998, 170-172 p.
- [8] SAENZ, N. & PANTELIDES, C. P. - Shear friction capacity of concrete with external carbon FRP strips. Journal of Structural Engineering 131(12), 2005, 1911-1919 p.
- [9] MATTOCK, A. H.; JOHAL, L. & Chow, H. C. - Shear transfer in reinforced concrete with moment or tension acting across the shear plane. Journal of the PCI, 20(4), 1975, 76-93 p.