

# Investigación experimental del cortante horizontal en la interfase de forjados compuestos con placas alveolares mediante ensayo push out

NOEL IRAOLA VALDÉS (\*) y RAFAEL LARRÚA QUEVEDO (\*\*)

**RESUMEN** En los forjados compuestos con placas alveolares es imprescindible la comprobación del esfuerzo cortante horizontal en la interfase entre los dos hormigones fundidos en etapas diferentes. En este trabajo se utiliza un modelo de ensayo del tipo “push out” que muestra su factibilidad en la investigación experimental de la conexión entre hormigones y se realizó la caracterización de la capacidad resistente de la conexión al cortante horizontal evaluando la influencia de diferentes parámetros. A partir de los resultados obtenidos se establece un análisis comparativo respecto a las principales normativas vigentes y a los resultados de otras investigaciones experimentales.

## EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE HORIZONTAL SHEAR STRENGTH ON INTERFACE OF COMPOSITE FLOORS WITH HOLLOW CORE SLABS USING PUSH OUT TEST

**ABSTRACT** *The verification of horizontal shear strength on composite floors with hollow core slabs between the two concretes cast at different times is indispensable. In this work a push out test model shows his feasibility in the experimental investigation of the connection and was carried out a characterization of the resistant capacity from the connection to the horizontal shear strength and the incidence of different parameters was evaluated. A comparative analysis settles down with regard to the most important current normative and to the results of other investigations.*

**Palabras clave:** Forjados compuestos, Placa alveolar, Cortante horizontal, Ensayo push out.

**Keywords:** Composite floors, Hollow core slab, Horizontal shear strength, Push out test.

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. CORTANTE HORIZONTAL

La comprobación del cortante en la interfase de elementos compuestos aparece en las normas y documentos técnicos con diferentes denominaciones. La **EHE-2008** le denomina “Estado Límite de Agotamiento por Esfuerzo Rasante en Juntas entre Hormigones”, en el **Eurocode-2: 2004** es abordado como “Cortante en la Interfase entre Hormigones Fundidos en Etapas Diferentes”; mientras que en la **NC-207: 2003**, al igual que en la normativa del **ACI**, se define como “Resistencia al Cortante Horizontal” indicando que si se supera determinado valor de tensión cortante horizontal se pasa al estado de “Cortante por Fricción”.

Este estado límite es aplicable al cálculo de estados de corte a través de una superficie potencial de fisuración o una superficie de junta entre los dos hormigones del elemento compuesto. Al experimentarse un corrimiento paralelo a la superficie de contacto las crestas de las superficies rugosas montan unas sobre otras. Si existe cualquier armadura de cosido la misma ofrece resistencia al deslizamiento.

Cuando no se dispone de armadura de cosido o ésta es de muy baja cuantía la rotura de la adherencia de ambos hormigones se presenta de forma repentina, con un deslizamiento relativamente pequeño entre ambos, ocurriendo una rotura frágil (sin aviso). La rotura se inicia por el punto en que se rebasa el valor límite de la tensión rasante y se propaga al resto del elemento.

El mecanismo general de transferencia de las tensiones de cortante a través de la interfase de piezas de hormigón fundidas en diferentes etapas, se muestra en la Figura 1.

Este mecanismo, para la determinación de la tensión tangencial resistente en la interfase, se resume conceptualmente en la siguiente expresión (**FIP: 1998**):

$$\tau = c + \sigma \tan \phi_c \quad (1)$$

(\*) Dr. Ing. Profesor Auxiliar. Facultad de Construcciones. Universidad de Camagüey. Cuba. Email: noel.iraola@reduc.edu.cu

(\*\*) Dr. Ing. Profesor Titular. Facultad de Construcciones. Universidad de Camagüey. Cuba. Email: rafael.larrua@reduc.edu.cu

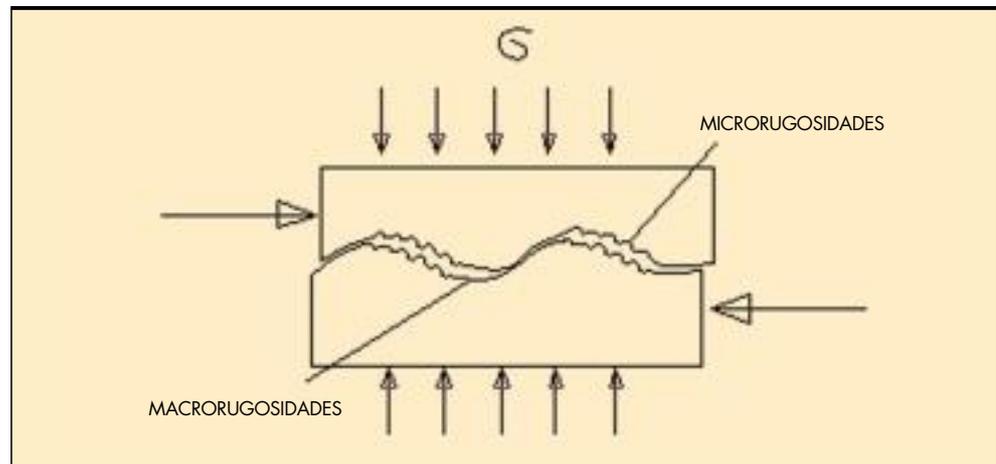


FIGURA 1. Mecanismo de fallo de la conexión.

En la expresión el término “c” (denominado cohesión) está referido a la cohesión entre hormigones fundidos en diferentes etapas. El segundo término tiene en cuenta las macro-rugosidades de la superficie.

La cohesión está basada en dos factores muy bien descritos por Aragón (Aragón, 2007):

- Adhesión de las partículas del hormigón de la primera etapa con la lechada o fase fluida del hormigón de la segunda etapa.
- Imbricación o trabazón entre los dos hormigones al penetrar la lechada del mortero en los poros de la superficie sobre la que se hormigona y posterior endurecimiento de las llaves de lechada.

Si la interfase es atravesada por armadura de refuerzo perpendicular a la misma entonces la expresión general resultante es la siguiente:

$$\tau = c + (\sigma_n + \rho_v f_{sy}) \tan \theta_c \quad (2)$$

Donde:

- $\rho$ : cuantía de acero de refuerzo en la conexión
- $f_{sy}$ : tensión de fluencia del acero de refuerzo de la conexión.
- $\sigma_n$ : tensión por cargas perpendiculares a la conexión.

En los forjados compuestos objetos de estudio, por las características propias de la tecnología de producción de las placas alveolares, no es posible dejar conectores metálicos de cortante durante el hormigonado, y no es recomendable, ni se encuentra en la práctica común el uso de conectores anclados posteriormente (FIP: 1998; PCI-Manual: 1998; AIDEPLA: 2004). El aporte a la resistencia de la conexión esté dado solamente por la cohesión o adherencia entre hormigones.

En los documentos técnicos existen diferencias al clasificar y agrupar los tipos de rugosidades, al tiempo que se clasifican según la tecnología de producción y técnicas empleadas para lograr la terminación de la superficie.

En el propio documento FIP: 1998 se definen valores de “c” y  $\tan \theta_c$  en función de dos categorías de rugosidades (I y II). Se plantea para la categoría I ( $c=0.2f_{ctd}$  y  $\tan \theta_c=0.6$ ) y para la categoría II ( $c=0.4f_{ctd}$  y  $\tan \theta_c=0.9$ ). El término  $f_{ctd}$  corresponde a la resistencia a tracción de diseño del hormigón de menor resistencia. Esta misma clasificación adoptó la EHE: 2002. En la EHE: 2008 se introducen algunos cambios en la clasificación y en las expresiones de diseño.

El Eurocode-2: 2004 le asigna valores a el término “c” a partir de cuatro tipos de superficies: muy lisas, lisas, intencionalmente rugosas y con llaves de cortante.

El ACI ha mantenido desde la versión ACI:1971 una concepción invariable y utiliza valores de tensión admisible en la interfase que no dependen de la resistencia del hormigón.

El proceso de vibrado del hormigón de mezcla seca durante la ejecución de las placas alveolares pretensadas extrudadas genera una superficie libre de lechada de cemento y con cierta rugosidad. Por la razón anterior la superficie de las placas generalmente no se considera de rugosidad baja, aunque el hombre no interviene directamente con alguna técnica posterior al hormigonado para incrementar la rugosidad.

A modo de ejemplo puede señalarse que en el manual de diseño de placas alveolares de Estados Unidos (PCI-Manual: 1998) se plantea que los ensayos realizados demuestran que la terminación de la superficie permite realizar el cálculo considerando la tensión rasante admisible para superficies intencionalmente rugosas adoptada por el ACI.

Por su parte, el manual de placas alveolares AIDEPLA de España (AIDEPLA: 2004) no plantea ningún tratamiento adicional a la superficie de las losas para considerar el trabajo como estructura compuesta y realiza el chequeo de tensión rasante de losas compuestas para superficies de rugosidad alta según la clasificación de la EHE-2002.

## 1.2. MODELO DE ENSAYO UTILIZADO EN EL EXPERIMENTO

Los ensayos a las piezas compuestas que se realizan en este trabajo tienen el objetivo de obtener valores de tensiones tangenciales que caractericen la capacidad resistente de la interfase en forjados compuestos con placas alveolares. Los ensayos permiten valorar además la incidencia de diferentes factores en la capacidad resistente de la conexión.

En el modelo utilizado se aplican los conceptos básicos de ensayos push out precedentes realizados en Estados Unidos por Walsh (2005), Timothy (2005) y Wallenfelsz (2006); y en España por Aragón (2007). Se incorporan nuevas ideas que tienen en cuenta las especificidades del tipo de sección compuesta que se investiga.

En la Figura 2 se observa el modelo con sus elementos componentes y dimensiones.

El ensayo push-out realizado tiene las siguientes peculiaridades:

1. Se garantiza un ensayo fácil de realizar en prensas universales con aplicación de la carga de forma vertical.
2. Estabilidad en la probeta de ensayo debido a su simetría evitando desplazamientos y giros indeseados durante la aplicación de la carga.

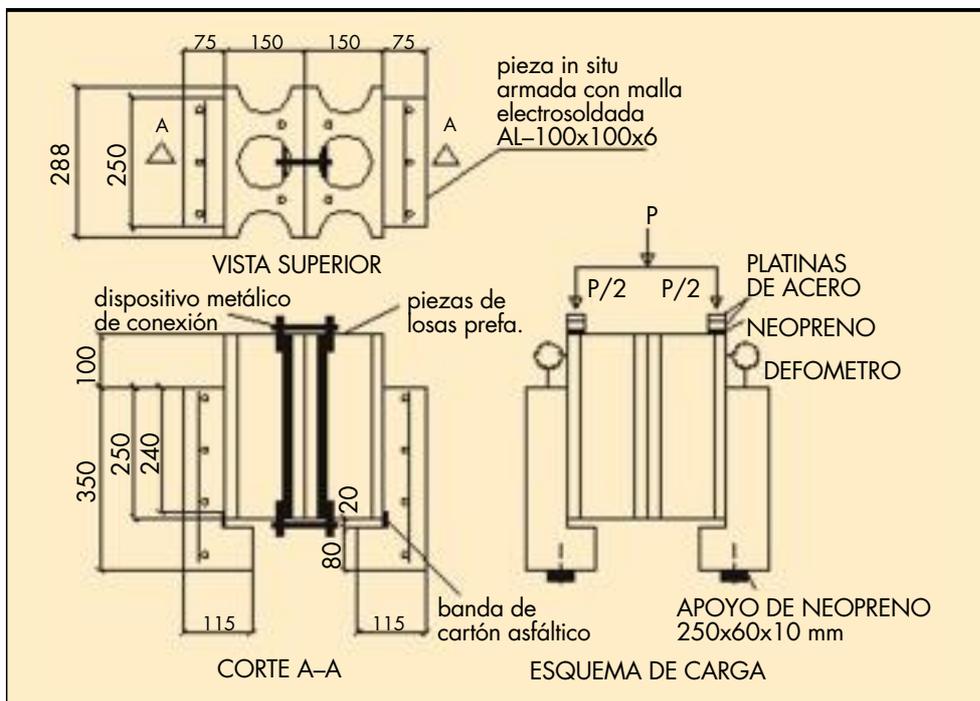


FIGURA 2. Esquema general del modelo de ensayo.

3. Pieza prefabricada tomada de la línea de producción que presenta las características físico-mecánicas y de rugosidad de la superficie del elemento prefabricado real.
4. Hormigón in situ, en las piezas pareadas para el ensayo, de una misma amasada.
5. Hormigonado horizontal sobre la pieza prefabricada, lo que reproduce las condiciones de la obra.
6. Geometría de las piezas para el ensayo que permite la aplicación de la carga con excentricidad mínima con respecto a la interfase.
7. Geometría y dimensiones de las piezas que permiten su fácil manipulación.

## 2. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

### 2.1. DISEÑO DEL EXPERIMENTO

El programa experimental se concibió en dos series independientes de ensayo. La Serie 1 está encaminada a investigar la incidencia del tipo de planta productora de las placas alveolares y de la resistencia a la compresión del hormigón de la losa in situ. Por su parte la Serie 2 se concibió para evaluar la incidencia de la condición de la superficie (humedad o seca) de la placa alveolar y del método de compactación del hormigón in situ.

Sobre la incidencia de cada factor y los resultados de las investigaciones precedentes realizadas se trató en el capítulo anterior.

El factor **tipo de planta productora** es muy complejo para asignarle los niveles correspondientes en la matriz del ensayo. El mismo se evalúa fundamentalmente con el objetivo de tener en cuenta los dos tipos de plantas que producen placas alveolares en Cuba. Aunque el funcionamiento de las máquinas productoras no ha cambiado prácticamente con paso del tiempo, se pueden agrupar en:

- Plantas productoras instaladas en Cuba desde los años 70 con tecnología Spiroll, que han sufrido durante su uso el desgaste y deterioro de sus mecanismos. En estos casos se ha considerado que puede verse afectada la terminación superficial de las losas, y pueden presentarse con mayor probabilidad los defectos locales, hendiduras y protuberancias en la parte superior.
- Plantas productoras instaladas en Cuba recientemente con tecnología UltraSpan, con sus mecanismos de vibración y compactación del hormigón en buen estado. Se ha considerado que se obtienen losas de elevada calidad y buena terminación superficial.

La incidencia de la **resistencia a la compresión del hormigón in situ** en la capacidad resistente de la conexión se evalúa teniendo en cuenta las dos tendencias existentes en los documentos normativos; unos que consideran en sus expresiones este factor y otros que lo ignoran. Se escogió un rango de resistencia usado en la práctica constructiva para la solución del forjado compuesto (20 MPa y 30 MPa).

El factor **condición de la superficie** fue seleccionado dado que la exigencia de humedecer la superficie de la placa alveolar antes del hormigonado in situ se plantea en diferentes documentos normativos y resulta conveniente contrastar los resultados de tal práctica con los que se obtienen con superficies secas (supuestamente en peores condiciones para la adherencia entre hormigones), dado que esta es una de las condiciones que con mayor facilidad puede variar en obra y es más difícil de controlar.

El factor **método de compactación del hormigón in situ** se escogió teniendo en cuenta que existen contradicciones e incertidumbres en los resultados obtenidos en investigaciones precedentes. En los documentos técnicos no hay una clara exigencia del vibrado como condición indispensable para el adecuado funcionamiento de la conexión. Con base en lo anterior se valora la incidencia de dos métodos de compactación: vibrado o fija (picado con barra de acero).

SERIE 1		
PIEZA DE ENSAYO	TIPO PLANTA (X <sub>1</sub> ) V-Villa Clara C-Camagüey	RES. HGON (MPa) (X <sub>2</sub> )
A1	V	20
B1	C	20
C1	V	30
D1	C	30
A2	V	20
B2	C	20
C2	V	30
D2	C	30
A3	V	20
B3	C	20
C3	V	30
D3	C	30

**TABLA 1.** Serie 1. Características de los especímenes.

SERIE 2		
PIEZA DE ENSAYO	COMPACTACIÓN V-Vibrada F-Picado con barras	SUPERFICIE H-Húmeda S-Seca
E1	F	S
F1	V	S
G1	F	H
H1	V	H
E2	F	S
F2	V	S
G2	F	H
H2	V	H
E3	F	S
F3	V	S
G3	F	H
H3	V	H

**TABLA 2.** Serie 2. Características de los especímenes.

Los argumentos antes expuestos conducen a la formulación de un diseño estadístico del experimento, que consta de dos series independientes, cada una de ellas concebidas en un plan factorial 2<sup>2</sup> (dos factores con dos niveles) y dos réplicas, lo que conduce al ensayo de 12 especímenes por serie y un total de 24 especímenes.

En la Serie 1 las dos variables o factores experimentales considerados fueron:

- X<sub>1</sub>: tipo de planta productora (cualitativo)
- X<sub>2</sub>: resistencia a la compresión del hormigón in situ (cuantitativo).

Los niveles considerados para el factor X<sub>1</sub> son:

- (-1): planta productora en explotación desde la década del setenta del pasado siglo (placas alveolares producidas en Camagüey).
- (+1): planta productora de reciente explotación (placas alveolares producidas en Villa Clara).

Los niveles considerados para el factor X<sub>2</sub> son:

- (-1): resistencia a la compresión del hormigón in situ de 20 MPa.
- (+1): resistencia a la compresión del hormigón in situ de 30 MPa.

En la Serie 2 las dos variables o factores experimentales considerados fueron:

- X<sub>1</sub>: condición de la superficie (cualitativo).
- X<sub>2</sub>: método de compactación del hormigón (cualitativo).

Los niveles considerados para el factor X<sub>1</sub> son:

- (-1): piezas prefabricadas con superficies secas -sin humedecer- antes del hormigonado in situ.
- (+1): piezas prefabricadas con superficies húmedas -humedecidas con abundante agua- antes del hormigonado in situ.

Los niveles considerados para el factor X<sub>2</sub> son:

- (-1): hormigón in situ compactado con fija (picado con barra de acero).
- (+1): hormigón in situ compactado con vibrador.

La conformación de las matrices del experimento se presenta en las Tablas 1 y 2.

## 2.2. PREPARACIÓN Y EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS

### 2.2.1. Preparación de las piezas

Las piezas prefabricadas se obtienen de la bandeja de producción de las placas alveolares pretensadas extrusadas, utilizando la máquina de corte destinada para esta función. Después del destense se cortan en franjas de 0.35 m de longitud que se quedan en la bandeja y se giran para realizar el corte en el otro sentido quedando las piezas de 0.35 x 0.288 metros en el caso de las placas de 0.15 m de canto total. Cada pieza tiene siempre un hueco central con los respectivos nervios de la pared de las losas a cada lado (ver Figura 3).

Posteriormente se colocan en un molde común con separador las dos piezas prefabricadas que serán pareadas, para la colocación del hormigón in situ. Con esto se garantiza que las dimensiones de las dos piezas sean iguales; sobre todo la distancia entre las caras superior (cara de aplicación de la carga) e inferior (cara de apoyo sobre la bandeja de la prensa) en la posición de ensayo en la prensa (ver Figura 4).

Se coloca una banda de cartón asfáltico entre las piezas prefabricadas e in situ en la franja final de la conexión con el objetivo de impedir trabazón por presencia de hormigón endurecido entre las piezas, garantizando la posibilidad de libre desplazamiento entre ellas durante el ensayo.

En el momento del ensayo se parean las piezas conformando el espécimen simétrico de ensayo con ayuda de un dispositivo metálico diseñado para tal efecto (ver Figura 5).



FIGURA 3. Cortes de piezas de losas prefabricadas.



FIGURA 4. Hormigonado de losa in situ sobre piezas prefabricadas.

Para la conformación del espécimen de ensayo se cumplen los siguientes requisitos:

- Los hormigones colocados in situ de piezas compuestas pareadas y conectadas entre sí para conformar el espécimen de ensayo es siempre de una misma amasada.
- Las piezas prefabricadas de cada espécimen de ensayo, son tomadas de una misma línea de producción.

Los pasos generales para la conformación de las piezas compuestas para el ensayo son los siguientes:

1. Corte de las piezas prefabricadas en la línea de producción de losas huecas pretensadas.
2. Hormigonado de las piezas in situ sobre las piezas prefabricadas en la misma posición que se ejecuta en obra.
3. Conexión de las dos piezas compuestas formando el espécimen de ensayo.

Antes de la ejecución de los ensayos se realizaron mediciones de las dimensiones de las piezas, haciendo especial hincapié en las relacionadas con la determinación de la superficie de contacto (interfase) entre hormigones.

### 2.2.2. Dispositivo de carga e instrumentación

Para la aplicación de la carga se utiliza una prensa universal de 1250 kN. Para registrar los deslizamientos rela-

tivos entre las piezas se utilizan relojes de carátula (defómetros) con precisión de 0.01 mm y recorrido máximo de 10 mm.



FIGURA 5. Conformación de espécimen para el ensayo.

**2.4. DESARROLLO DEL ENSAYO Y RESULTADOS**

**2.4.1. Ejecución de ensayos**

En la Figura 6 se muestra el espécimen listo para el ensayo colocado en la prensa, con todos los dispositivos necesarios, antes de ser sometido a carga.



FIGURA 6. Especimen listo para el ensayo.

Antes de proceder al ensayo de los especímenes, se realizó el ensayo a la muestra de probetas de hormigón in situ para determinar la resistencia a compresión del mismo. Se realizaron ensayos con esclerómetro a las piezas prefabricadas e in situ para obtener una mejor caracterización de la calidad del hormigón.

La ejecución del ensayo se realizó aplicando los escalones de carga en forma monotónica con intervalos de 2.5 kN. Se procedió a realizar las lecturas de los deslizamientos en los defómetros una vez estabilizado cada escalón de carga, luego de lo cual se pasó al siguiente escalón de carga.

**2.4.2. Resultados de ensayos a los materiales componentes**

Las resistencias medias a compresión de los hormigones de las piezas de losas prefabricadas tomadas de las líneas de producción fueron para las de Villa Clara de 48.6 MPa y para las de Camagüey de 45.3 MPa.

El hormigón in situ fue elaborado con control automático de la dosificación. Se tomaron 6 probetas de cada uno de los tres hormigones utilizados. El hormigón utilizado en la Serie 1 de ensayos con dosificación para 20 MPa presentó una resistencia media a la compresión de 22,2 MPa con una desviación estándar de 0,65 MPa. El hormigón utilizado en la Serie 1 de ensayos con dosificación para 30 MPa presentó una resistencia media a la compresión de 34,6 MPa con una desviación estándar de 0,42 MPa. El hormigón utilizado en la Serie 3 presentó una resistencia media a la compresión de 35,6 MPa con una desviación estándar de 0,71 MPa. La homogeneidad de los resultados de resistencia obtenidos fue corroborada a través de pruebas con esclerómetro.

**2.4.3. Resultados de ensayos a especímenes**

Las Tablas 3 y 4 muestran las cargas máximas registradas en la prensa en el momento del fallo para cada ensayo, el área real de la interfase en la que se produjo el fallo y la tensión

RESULTADOS DE LA SERIE 1					
Denominación	Factores	Carga máxima (kN)	Área interfase (cm <sup>2</sup> )	Tensión (MPa)	Deslizamiento relativo (mm)
A1	V-20	350	610	2.87	0.05
B1	C-20	250	592	2.11	0.04
C1	V-30	375	580	3.23	0.08
D1	C-30	240	590	2.03	0.04
A2	V-20	200	610	1.64	0.04
B2	C-20	300	608	2.47	0.03
C2	V-30	330	580	2.84	0.05
D2	C-30	325	610	2.66	0.04
A3	V-20	300	602	2.49	0.06
B3	C-20	330	595	2.77	0.06
C3	V-30	400	577	3.47	0.07
D3	C-30	275	598	2.30	0.04

Observaciones:

- En espécimen A-1 se observó fisura en la superficie exterior de la losa in situ del lado derecho al valor de carga 275 kN.
- En espécimen D-2 se observó fisura en la superficie exterior de la losa in situ del lado derecho al valor de carga 300 kN.

TABLA 3. Serie 1. Resultados de los ensayos.

RESULTADOS DE LA SERIE 2					
Denominación	Factores	Carga máxima (kN)	Área interfase (cm <sup>2</sup> )	Tensión (MPa)	Deslizamiento relativo (mm)
E1	H-V	475	620	3.83	0.07
F1	H-F	325	630	2.58	0.04
G1	S-V	275	630	2.18	0.04
H1	S-F	300	615	2.44	0.05
E2	H-V	400	614	3.26	0.05
F2	H-F	250	615	2.03	0.03
G2	S-V	475	610	3.89	0.06
H2	S-F	375	617	3.04	0.06
E3	H-V	–	–	–	–
F3	H-F	350	621	2.82	0.06
G3	S-V	400	615	3.25	0.05
H3	S-F	350	614	2.85	0.05

Nota:  
1. El espécimen E-3 no se ensayó por roturas durante la transportación.

**TABLA 4.** Serie 2. Resultados de los ensayos.

máxima correspondiente calculada con la mitad de la carga, teniendo en cuenta la simetría del espécimen. Se muestra además el último valor de deslizamiento registrado antes del fallo de la interfase.

A continuación se describen algunas observaciones sobre el ensayo:

- El fallo se produjo en todos los casos de forma repentina y sin aviso, registrándose siempre el primer valor de deslizamiento para cargas de 50 kN o superiores.
- El rango de los deslizamientos máximos registrados estuvo entre 0.03mm y 0.08 mm.
- En dos especímenes se produjeron fisuras en la cara exterior de la losa in situ. Estas fisuras fueron provocadas por la excentricidad de la carga resultante con respecto al centroide de la losa in situ. Al parecer en esta piezas la malla de acero estaba ubicada muy alejada de la su-

perficie y el hormigón no soportó las tracciones generadas por el efecto descrito.

- En todos los casos se observaron en las superficies, después del fallo, restos de hormigón de la pieza prefabricada en la pieza in situ y viceversa, evidenciando la adherencia que se logra en la interfase. Ver a continuación esta afirmación ilustrada en la Figura 7.

### 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 3.1. TENSIÓN EN LA INTERFASE

Una vez registrados todos los resultados se procedió al procesamiento estadístico de los mismos. Para ambas series se demostró que no resultaron significativos los factores considerados ni sus interacciones en la variable dependiente (tensión en la interfase) para un nivel de confianza del 95%.



**FIGURA 7.** Vistas de superficies de fallo en la interfase.

Fuente	Descripción	Tensión en interfase (MPa)			Relación [Tens.(Iraola,2009) / Tens. (otros autores)]		
		Media	Mín.	Máx.	Media	Mín.	Máx.
Iraola N., 2009	24 ensayos push out piezas compuestas con losas huecas	2.74	1.64	3.89	1	1	1
Hanson, N. W. (1960).	16 ensayos push out (superficies rugosas)	2.90	2.40	-	0.94	0.68	-
Saemann J.C. y Washa, G.W. (1964)	Ensayos viga-losa a flexión (superficies rugosas)	-	2.89	4.18	-	0.57	0.93
CTA (1974)	16 ensayos a flexión (superficies Intermedias y rugosas)	2.02	1.04	3.09	1.36	1.57	1.26
CTA (1976)	13 ensayos a flexión viga-losa y losas compuestas (superficies Intermedias y rugosas)	1.54	0.94	2.03	1.78	1.74	1.92
Girham-marU. A., Pajari M. (2007)	6 ensayos pull out a losas compuestas con losas huecas	1.70	1.49	1.96	1.61	1.10	1.98
Aragón Torre A. (2007)	6 ensayos push out (sup. Rugosa)	1.24	0.73	1.73	2.2	2.24	2.24

TABLA 5. Tabla comparativa. Ensayos de Iraola, 2009 y diferentes autores.

Al no ser significativos los factores evaluados en ninguna de las dos series se procedió a procesar los resultados de la tensión en la interfase teniendo en cuenta los valores de ambas series. Este análisis de la muestra arrojó como valor medio 2.74 MPa y una desviación estándar de 0.58 MPa, con un rango entre 1.64 MPa y 3.89 MPa.

A continuación se reflejan los resultados de algunos programas experimentales en una tabla resumen (ver Tabla 5), incluido el expuesto en este trabajo, que permiten contrastar los resultados alcanzados. Se seleccionaron ensayos a flexión y otros tipos de ensayos de los que se realizan para investigar la conexión y el cortante en general en piezas compuestas. En los ensayos seleccionados la superficie investigada clasifica como rugosa (tratamiento intencional para provocar rugosidad) o superficie intermedia (terminada con frota de madera).

Los valores de los ensayos a flexión reflejados en la tabla en algunos casos están por debajo de lo que realmente hu-

biera resistido la conexión, ya que el fallo se produjo por otras causas y los autores infieren el valor de tensión en la interfase según las expresiones de cálculo de las normativas vigentes.

Se observan las diferencias entre los valores de tensión máxima y mínima dentro de un mismo ensayo. Se aprecian además las diferencias significativas entre los valores de tensión de los ensayos realizados por diferentes autores. Los resultados de los ensayos realizados en este trabajo demuestran que la conexión estudiada clasifica como una superficie rugosa.

En la Tabla 6 se contrastan los resultados de los ensayos de este trabajo y los valores de tensión nominal en la interfase admitidos en varias normas para superficies rugosas. Se seleccionó el rango de resistencia a compresión comúnmente utilizado para el hormigón in situ, en el tipo de estructura que se analiza.

Fuente	Tensión en la interfase para superficies rugosas (MPa)		Relación para la tensión en la interfase [Ensayos (Iraola,2009) / Normas]	
	Resistencia de hormigón más débil en la interfase (MPa)		Resistencia de hormigón más débil en la interfase (MPa)	
	20	35	20	35
EURO-CODE 2: 2004	0.46	0.675	3.78	2.57
EHE:2008	0.44	0.53	3.95	3.28
ACI:2005	0.55		3.16	
ASHTOO- LRFD 2004	0.7		2.48	

TABLA 6. Tabla comparativa. Ensayos de Iraola, 2009 y normativas.

Para la realización de la tabla se determinó el valor medio de la tensión en la interfase de los ensayos, la desviación estándar de la muestra; y con estos valores, teniendo en cuenta el tamaño de la muestra, se determinó el valor característico de tensión en la interfase de 1.74 MPa para un nivel de confianza del 95%. Las relaciones entre el ensayo y las normativas están calculadas con este valor.

Se observa que los resultados obtenidos en los ensayos para la conexión estudiada corresponden a una interfase que admitió valores altos de tensión comparados con los establecidos en los documentos normativos considerados. Lo mismo ha sucedido tradicionalmente con los resultados de otros autores para conexiones hormigón-hormigón.

Llama poderosamente la atención que en la nueva normativa española **EHE: 2008** el aumento de la resistencia a compresión del hormigón más débil en la junta, tiene menor peso en el incremento de la tensión admisible que en la normativa anterior (**EHE: 2002**) y que en la normativa europea (**Eurocode 2: 2004**). Es decir ha disminuido la significación de este factor y por tanto se ha producido mayor acercamiento hacia las normativas de Estados Unidos que no lo tienen en cuenta; concordando además con los resultados de la presente investigación en los que este factor no resultó significativo.

El valor característico obtenido de los ensayos está dentro del rango de superficie intermedia dado por la Corporación de Tecnología del Hormigón (CTC) en su boletín de asociados CTA 76-B4. Se obtendría un valor de tensión de 0.87 MPa a partir de los resultados obtenidos en este trabajo, si se aplica la afirmación que se hace en dicho boletín, demostrada con ensayos, de que para superficies con polvo y suciedades el valor obtenido puede verse afectado en un 50%. Calavera (**Calavera, 2003**) plantea una afectación de 2/3 al valor de tensión admisible. Los valores admitidos por las normativas referen-

ciadas están aún por debajo de este valor. Este análisis no deja lugar a dudas de que se está en presencia de una superficie de rugosidad alta.

Resulta oportuno comentar que los criterios que existen sobre la fragilidad del fallo, la dispersión que se alcanza en los ensayos para piezas teóricamente iguales, la dificultad para establecer patrones de medición de rugosidad, el papel fundamental que tiene el hecho de que la superficie esté libre de lechada, polvo y suciedades; así como otras cuestiones asociadas a las condiciones de ejecución, han influido, en que a pesar de los resultados obtenidos en los ensayos por diferentes autores, no ha existido un pronunciamiento generalizado sobre la posibilidad de variar (incrementar) los valores establecidos en los documentos normativos.

### 3.2. DESLIZAMIENTO RELATIVO

El fallo se produjo en todos los casos de forma no avisada con magnitudes de deslizamientos relativos pequeños, tal como se esperaba. Los primeros deslizamientos relativos se registraron en todos los casos para tensiones superiores a 0.4 MPa y con mayor frecuencia para valores en el intervalo entre 0.6 Mpa y 1 MPa.

Los valores máximos de deslizamientos obtenidos fueron de 0.08 mm. Este valor está en el rango que va desde el máximo reportado por **Timothy (2005)** de 0.063 mm y el de 0.125 mm reportado como máximo por **Hanson (1960)**.

El valor de deslizamiento máximo en el momento del fallo estuvo entre 0.03 mm y 0.08 mm; pero un número importante de los fallos se produjeron con deslizamientos relativos entre 0.04 mm y 0.05 mm (en total 10 fallos).

En la Figura 8 se expone aparece el conjunto de puntos de deslizamiento relativo vs tensión en la interfase para todos

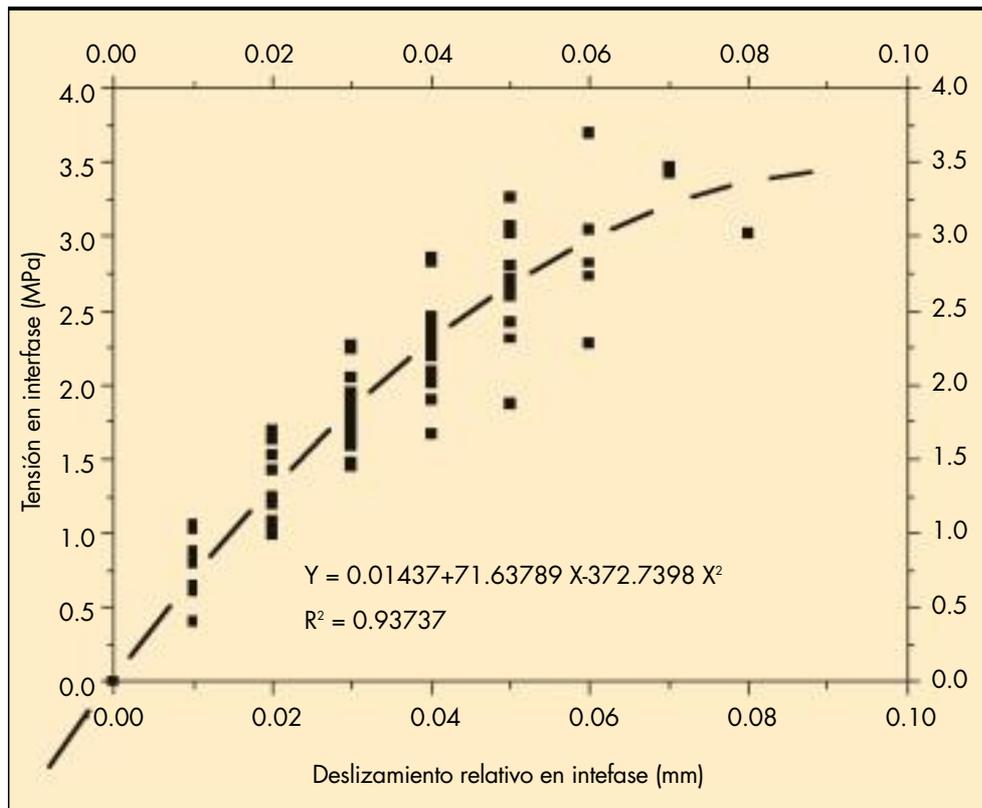


FIGURA 8. Gráfico deslizamiento relativo vs tensión en la interfase.

los ensayos realizados. Se tomó el primer valor de tensión para el que se alcanzaron cada uno de los valores de deslizamientos en escalones desde 0.01 mm en adelante.

Se puede observar que en sentido general los desplazamientos relativos estuvieron ligados a las tensiones en la interfase siguiendo una función cuadrática, como se muestra en el gráfico. Esta función presentó un buen ajuste para los resultados obtenidos.

#### 4. CONCLUSIONES

Las conclusiones son las siguientes:

1. Se demostró la efectividad del modelo de ensayo propuesto para la evaluación de la capacidad resistente de la conexión objeto de estudio. Se evidencia que los conceptos manejados en el mismo pueden hacerse extensivos al estudio de otros tipos de conexiones en piezas compuestas hormigón-hormigón.
2. Los factores evaluados: tipo de planta productora, resistencia del hormigón de la losa in situ, método de compactación del hormigón (vibrado o fija) y condición de la superficie (húmeda o seca) no resultaron significativos para la variable tensión resistente en la interfase.
3. El tipo de fallo presentado fue frágil y con valores de deslizamientos relativos pequeños; tal como se esperaba para este tipo de conexión sin armadura de cosido. El valor máximo registrado fue de 0.08 mm.
4. La superficie de las losas huecas pretensadas producidas con técnica de vibrado y extrusado clasifica como una superficie de rugosidad alta y garantiza una conexión adecuada para el diseño estructural de la tipología que se estudia. Se obtuvo un valor medio de tensión para toda la muestra de 2.74 MPa, con un rango entre 1.64 MPa y 3.89 MPa.
5. Los valores obtenidos de tensión resistente en la interfase resultaron muy superiores a los establecidos para secciones compuestas hormigón-hormigón en todos los documentos técnicos referenciados. Esto se refleja igualmente en los ensayos realizados por otros autores.

#### 5. BIBLIOGRAFÍA

- ACI 318-05: ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-05) and Commentary (ACI 318R-05)", American Concrete Institute, 2005.
- ACI-ASCE committee 333. Tentative Recommendations for Design of Composite.
- AIDEPLA-2004. Proyecto y ejecución de elementos resistentes con alveoplaca. España, 2004.
- AASHTO LRFD (2004). Bridge Design Specification. 3<sup>rd</sup> edition With 2005 and 2006 Interims. Washinton D. C.
- Aragón Torre, A. (2007): Investigación de los mecanismos de transferencia de tensiones rasantes en juntas de piezas compuestas entre hormigones 'in situ' y prefabricados de alta resistencia. Tesis de doctorado, Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Burgos, España.
- Calavera Ruiz, J (2003): Cálculo, construcción, patología y rehabilitación de forjados de edificaciones unidireccionales y sin vigas. 5<sup>ta</sup> Edición, INTEMAC, Madrid, 2003, 1025 p.
- CEB-FIP 1990 (1990): Código Modelo del Comité Europeo del Hormigón y la Federación Internacional del Pretensado, 1990.
- CTA Technical bulletin 74-B6 (1974): Composite Systems Without Roughness, Concrete technology associates, 6/1974, 46 p.
- CTA Technical bulletin 76-B4 (1976): Composite Systems Without Ties. Concrete technology associates, -4/1976, 43 p.
- EFHE 2002: Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón estructural realizados con elementos prefabricados. Sust. EF-96; Vig. Desde 7/2002, 48 p.
- EHE 2002: Instrucción de hormigón estructural. Ministerio de Fomento. Madrid, 2002.
- EHE 2008: Instrucción de hormigón estructural. Ministerio de Fomento. Madrid, 2008.
- Eurocode 2 (2004): Design of concrete structures-part 1-1. General rules and rules for building, 12/2004, 225 p.
- FIP Guide to good practice. Composite floor structures. FIP,1998, 58p.
- Girhammar, U. A.; Pajari M. (2007): Test and analysis on shear strength of composite slabs of hollow core units and concrete topping. VTT Building and Transport, Kemistintie, Finland. Construction and Building Materials, 7/2007.
- Hanson, N. W. (1960): Precast prestressed concrete bridges. Horizontal shear connections. Journal PCA Research and Development Laboratories, Vol. 2, No. 2, May 1960, p. 38-58.
- Insel, E.; Olsen, M. D.; Tanner, J. E. and Dolan, C. W. (2005): Carbon fiber connectors for concrete composite, No. 3. March 2005, p. 339-347.
- Iraola N.; Larrua R.; Recarey C. (2008): Consideraciones sobre la capacidad de carga de forjados compuestos con placas alveolares pretensadas y losa superior de hormigón "in situ". Revista Ingeniería Civil, N° 150, 2008, CEDEX, Madrid, España, págs 127-144.
- NC 207-2003. Construcciones de Hormigón Armado. Requisitos generales para el diseño y construcción de las estructuras de hormigón. Sust. NC 053-039: 1989; Vig. Desde 9-2003, 193 p.
- Patnaik A. K.; Loov R. E. (1994): Horizontal Shear strength of composite concrete beam with a rough interface. PCI Journal, Vol. 39, No.1, pp.48-66,1994.
- Patnaik, A. K. (2001): Behavior of composite concrete beams with smooth interface. Journal of Structural Engineering, Vol. 127, No 4, pp. 359-366, 2001.
- PCI-Manual for the design of hollow core slabs (1998). PCI, Second edition, 1998, 22p.
- Timothy, E. (2005): Horizontal shear transfer between ultra high performance concrete and lightweight concrete. Thesis for the degree of master of science, Virginia Polytechnic Institute, 2005.
- Ueda T.; Boonchai S. (1991): Shear strength of precast prestressed hollow slabs with concrete topping. ACI Structural Journal, Vol. 88, No. 4, 1991.
- Wallenfelsz , J. (2006): Horizontal shear transfer for full-depth precast concrete bridge decks panels. Thesis for the degree of master of science, Virginia Polytechnic Institute, 2006.
- Walsh, M.; (2005): Capacity of composite concrete beam without ties. Literature review and test programs. ATLSS Report, Lehigh University, Vol. 05, No. 09, pp. 1-70, 2005.