

# **CORTE POR FRICCIÓN EN INTERFASES DE HORMIGONES PREMOLDEADOS Y COLADOS IN SITU. SU RELACIÓN CON LA TENSIÓN ESPECIFICADA A LA COMPRESIÓN.**

Carrere, Alejandro Daniel; Facendini, Susana Rosa;  
López, Patricia Viviana y Cassano, Arturo Manuel

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Paraná, Departamento Ingeniería Civil  
alejandrocarrere@yahoo.com.ar, susanafacendini@yahoo.com.ar,  
patricia\_lopez40@hotmail.com, acassano@frp.utn.edu.ar

## **Resumen**

La resistencia de corte por fricción en hormigón aparece en la superficie de contacto entre coladas de diferentes edades, y se basa en la habilidad de estas partes de trabajar en conjunto.

La ACI 318-05 presenta varias formas de calcular la fuerza resultante de distribución de tensiones de corte en la superficie de contacto. En la cláusula 17.5.4 especifica una de las alternativas: "...el corte horizontal puede ser determinado calculando la variación real de resistencia a compresión o tracción en cualquier segmento..."

La aparición de tensiones de corte horizontales a lo largo de la interfaz de contacto, permite asumir una flexión unificada hasta la falla; entonces, es posible considerar una flexión uniforme en la sección transformada para ambos materiales.

En este trabajo, se pretende relacionar, de manera experimental, las tensiones de corte horizontales con los parámetros característicos de los materiales utilizados. Varios ensayos a vigas compuestas por hormigones de diferentes edades fueron realizados, obteniendo una relación entre la resistencia a compresión especificada y la resistencia al corte en la superficie de contacto.

## **Abstract**

*The concrete frictional shear strength appears in the contact surface between different age concrete pours, and it is based on the ability to work together.*

*The ACI 318-05 presents several ways to calculate the resulting force from the shear stress distribution in the contact surface. In clause 17.5.4 specifies one of the alternatives "... the horizontal shear should be determined by calculating the real variation in the strength of compression or traction on any segment..."*

*The appearance of horizontal shear stress along the contact interface, allows to assume unified bending up to the failure; then, it is possible to consider a uniform flexure in the transformed section for both materials.*

*In this work, it is intended to relate the horizontal shear stress to the materials characteristic parameters, in a experimental way. Several tests were performed for different ages concrete composite beams, obtaining a relationship between the specified compressive strength and shear strength at the contact surface.*

## Introducción

El hormigón es, probablemente, el material disponible más importante para la construcción en el medio local. Puede usarse casi en todas las estructuras, grandes o pequeñas.

El avance en el conocimiento durante las últimas décadas permitió una definición más general del hormigón a utilizar con propósitos estructurales, dejando de lado la antigua diferenciación entre hormigón armado y hormigón pretensado, adoptando los modernos códigos y reglamentos la terminología "hormigón estructural". Así logra abarcarse desde el hormigón no armado - simple - hasta el pretensado.

La evolución de la tecnología del hormigón y la industrialización en el ámbito de la construcción han dado como resultado el uso masivo de elementos prefabricados. El uso de viguetas pretensadas, que se combinan con hormigón colocado in situ, para la ejecución de losas de entrepisos o cubiertas, constituye el caso más usual. En la interfaz, superficie de contacto entre los hormigones de las viguetas y el colocado en el lugar (diferentes edades, agregados, dosificación, resistencia, etc.), se pone en evidencia el corte friccional, esfuerzo que garantiza la capacidad de ambos materiales para trabajar en conjunto, razón por la cual es importante su consideración. Este esfuerzo también aparece en las "uniones" de hormigones de diferentes coladas, cuando el llenado de partes de la estructura no es posible realizarlo en una sola etapa.

La evaluación de este esfuerzo ha cobrado importancia en los últimos años: en las normativas españolas aparece mencionado recién a partir de EH-91 y EP-93.

Así también recibe distintas denominaciones en las normativas. *"En la EHE-2002 se llama Estado Límite de agotamiento por esfuerzo rasante en juntas entre hormigones, en la EFHE-2002 aparece como Cortante longitudinal, en el Eurocódigo 2:2004 se aborda como Cortante en la interfaz entre hormigones fundidos en etapas diferentes, mientras que en la NC 207:2003, al igual que en la normativa del ACI-2005, se define como Resistencia al cortante horizontal, y si se supera determinado valor de tensión cortante horizontal se pasa al estado de Cortante por fricción..."*<sup>[1]</sup> Mitchell Gohnert<sup>[2], [3]</sup> propone una teoría para analizar el esfuerzo mencionado. Su enfoque se encuadra dentro de la alternativa mencionada por la ACI 318-05<sup>[4]</sup> en su artículo 17.5.4, ya que la tensión se determina como resultado de las ecuaciones de equilibrio aplicadas a secciones de alma llena.

Debe considerarse que se procede a calcular la componente de tensión buscada, aplicando la teoría a secciones homogeneizadas, ya que se trata de dos materiales distintos. Como es normal en el trabajo a flexión de piezas de hormigón armado, no se computa la capacidad resistente a tracción de la parte de la sección sometida a este esfuerzo, tomándose el supuesto de sección fisurada.

## Relaciones entre esfuerzos característicos

Tomando un segmento de longitud diferencial "dx" de una viga y considerando los esfuerzos actuantes en sus caras (ver Figura 1), aplicando las ecuaciones de equilibrio se puede obtener la relación fundamental entre el esfuerzo de corte vertical (V) y el momento de flexión (M):

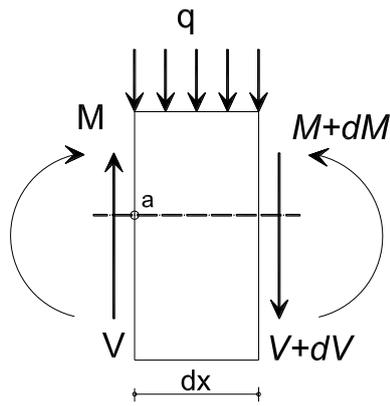


Figura 1. Esfuerzos característicos en elemento diferencial

$$V = \frac{dM}{dx} \quad (1)$$

Como se indica en la ecuación (1), el esfuerzo de corte vertical sólo existirá si hay un cambio en el momento.

El momento de flexión produce una distribución de la tensión en la altura de la sección como se muestra en la Figura 2.

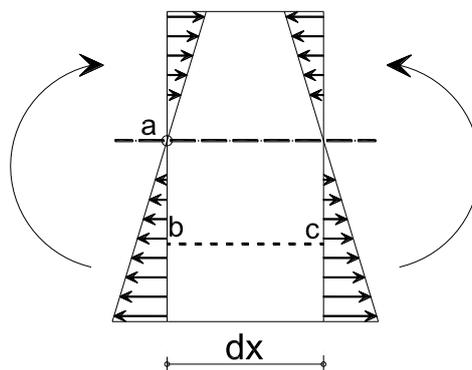


Figura 2. Tensiones normales en la sección longitudinal. El segmento "bc" indica la interfaz entre hormigones

Si se corta el segmento de la viga a lo largo de la línea *bc*, el esfuerzo de corte horizontal a lo largo de la superficie de contacto es la diferencia entre las fuerzas resultantes de la distribución de tensiones normales a un lado y a otro del segmento. La Figura 3 ilustra lo anterior.

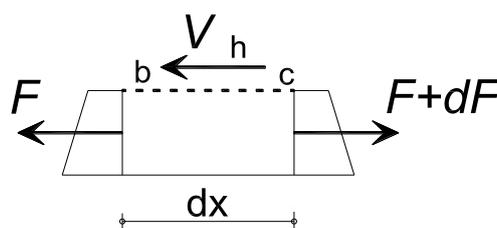


Figura 3. Esfuerzo de corte horizontal en elemento diferencial

Aplicando la condición de equilibrio de fuerzas en la sección, resulta:

$$\Sigma F = -V_h - F + (F + dF) = 0 \quad (2)$$

$$V_h = (F + dF) - F \quad (3)$$

donde  $V_h$  es el esfuerzo de corte horizontal y  $F$  es la fuerza resultante de la distribución de la tensión normal.

La tensión cortante horizontal es simplemente el esfuerzo de corte correspondiente dividido por la superficie de la interfaz en el segmento analizado.

$$v_h = \frac{(F + dF) - F}{dx * b} = \frac{dF}{dx * b} \quad (4)$$

Siendo  $b_0$  el ancho de la sección.

Las ecuaciones derivadas aquí son aplicables a una viga sometida a un sistema de cargas que determine en algún tramo de la misma, flexión variable. Tal es el caso de una viga solicitada por dos cargas concentradas de igual magnitud equidistantes de los apoyos de la misma. La anterior condición se verifica en el tramo comprendido entre uno de los apoyos y el punto de aplicación de la carga más cercana al mismo. El mencionado sistema es reproducible en ensayos de flexión simple en laboratorio. El modelo aludido se indica en la Figura siguiente.

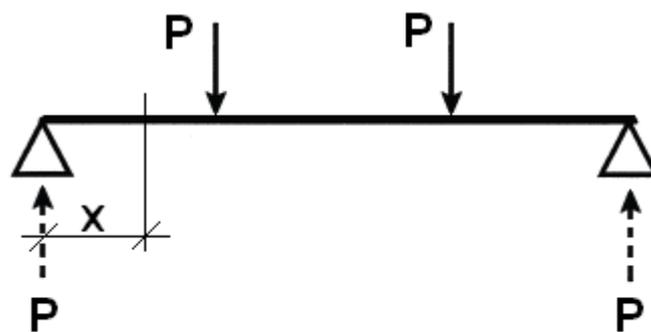


Figura 4. Modelo de viga a analizar

### Tensión cortante horizontal en piezas combinadas de elementos prefabricados y hormigón in situ

La Figura 5 muestra la configuración de la pieza resultante de la combinación de una vigueta (hormigón prefabricado), hormigón ejecutado en obra, y refuerzo de acero (alojado en la vigueta). Se consideran las propiedades de los materiales, al efecto de homogeneizarlos (o "transformarlos") en un único material, que en este caso será el hormigón in situ. Sobre este elemento teórico de material homogéneo se aplicarán las ecuaciones anteriores.

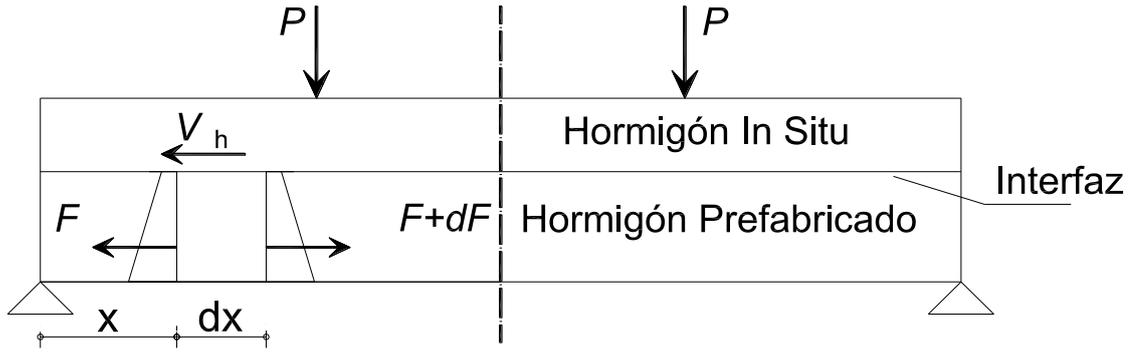


Figura 5. Viga compuesta por elemento de hormigón prefabricado y hormigón in situ

Si se supone a la sección fisurada, como se hace en el presente desarrollo, la tensión de tracción es resistida únicamente por el acero de las viguetas. El hormigón del elemento prefabricado queda alojado en zona de tracción, por tanto fisurado, y no se pondera su aporte a la capacidad resistente. La Figura 6 ilustra la sección transformada:

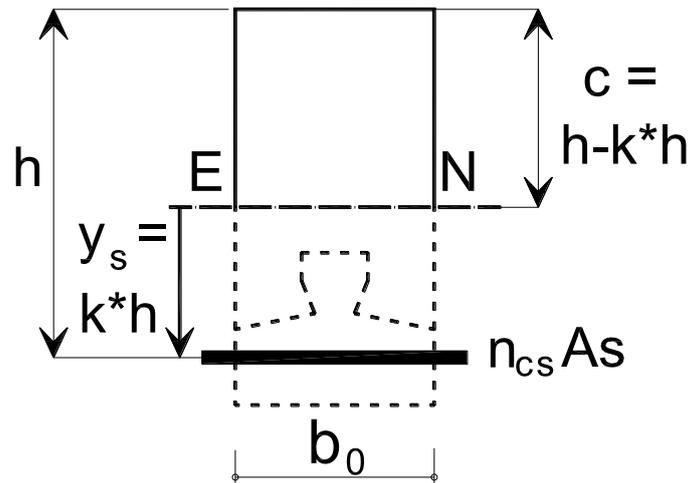


Figura 6. Sección analizada

Se realiza la homogenización, modificando el área "A<sub>s</sub>" del eje material (transformándola a hormigón in situ "equivalente") utilizando la cantidad de área "n<sub>cs</sub>\* A<sub>s</sub>". Se define la relación modular:

$$n_{cs} = \frac{E_s}{E_{insitu}} \quad (5)$$

La tensión en el acero, entonces queda de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$f_s = \frac{n_{cs} * M * y_s}{I_{cr}} \quad (6)$$

La fuerza resultante es igual a la presión multiplicada por el área de acero.

$$F = f_s * A_s = \frac{n_{CS} * M * y_s * A_s}{I_{cr}} \quad (7)$$

Considerando para la viga estudiada, el valor del momento flector a una distancia “x” desde el apoyo, se tiene:

$$F = \frac{n_{CS} * y_s * A_s}{I_{cr}} * P * x \quad (8)$$

En tanto que la fuerza incrementada en dx, será:

$$F + dF = \frac{n_{CS} * y_s * A_s}{I_{cr}} * P * (x + dx) \quad (9)$$

La diferencia es:

$$F + dF - F = \frac{n_{CS} * y_s * A_s}{I_{cr}} * P * (x + dx - x) = \frac{n_{CS} * y_s * A_s}{I_{cr}} * P * dx \quad (10)$$

Finalmente es tensión cortante horizontal en la interfaz, dada por la ecuación (4), es:

$$v_h = \frac{(F + dF - F)}{dx * S} = \frac{n_{CS} * y_s * A_s}{I_{cr} * S} * P \quad (11)$$

En la ecuación (11) se cambia el ancho  $b_0$  por el perímetro de contacto entre ambos materiales S, puesto que interesa la sección de la interfaz, y debe observarse por tanto el contorno de la forma seccional en “T” de las viguetas comercializadas en nuestro medio. Se señala que la interfaz resulta situada en la zona de tracción del elemento compuesto.

Cálculo de la inercia  $I_{cr}$ . Debido a que una parte de la sección de hormigón se considera sin tensiones, surge la necesidad de determinar las cantidades de ella que trabajan a tracción y a compresión, y en consecuencia debe realizarse el cálculo de las alturas de la sección sometidas a dichas tensiones. En ambos casos se las considera un múltiplo de la altura útil. A su vez, se puede conocer la posición del eje neutro “EN” de la sección original.

Siendo “h” la altura útil de la sección (distancia desde el baricentro del refuerzo de acero al borde superior comprimido de la sección), se definen:

$$\begin{aligned} y_s &= k * h \\ c &= h - k * h \end{aligned} \quad (12)$$

Donde  $y_s$  es la distancia del baricentro del refuerzo de acero al eje neutro, y c es la altura comprimida de la sección.

Planteando la expresión del momento estático de ambas zonas de la sección con

respecto al eje neutro, resulta:

$$A_s * (k * h) = b * \frac{(h - k * h)^2}{2} \quad (13)$$

Que resuelta queda:

$$\left( b * \frac{h^2}{2} \right) * k^2 - (b * h^2 + A_s * h) * k + b * \frac{h^2}{2} = 0 \quad (14)$$

Es decir una ecuación cuadrática de incógnita "k". Debe aplicarse la resolvente para Determinar el valor de dicha constante, la que multiplicada por la altura "h" de la sección permite valorar la distancia del baricentro de la armadura traccionada al eje neutro de la sección homogeneizada.

## Ensayos

Se elaboraron dos series de probetas prismáticas, para ensayarlas a la flexión. Las muestras tuvieron 0.15 m de lado y 0.75 m de longitud. Éstas se conformaron disponiendo en la parte inferior del molde metálico, la vigueta prefabricada (Figura 7), y luego llenando con hormigón realizado in situ, el que se preparó dosificando los materiales adecuadamente con el objetivo de obtener una resistencia especificada a la compresión <sup>(1)</sup>.

Para la primera serie de muestras, se colocaron las viguetas a sección completa (como se comercializan); para la segunda serie, se seccionaron las viguetas y sólo se utilizó el canto inferior de estos elementos premoldeados.



Figura 7. Molde metálico para probetas del ensayo de flexión. Disposición de vigueta en la parte inferior

<sup>(1)</sup> Se determinó la resistencia especificada a la compresión según norma IRAM n° 1546

El hormigón vertido para completar la probeta se vierte lentamente y se compacta con varillas de acero de manera de lograr una compacidad adecuada. Debe observarse que no se interpone armadura en la interfaz.



Figura 8. Vertido y compactación del hormigón in situ

Luego de 24 hs de curado dentro de los moldes, se retiraron las probetas y se procedió a sumergirlas en agua durante 28 días. Superado ese lapso de tiempo se desmoldaron al efecto de someterlas al ensayo de flexión.



Figura 9. Sección de la pieza resultante

Luego, la probeta se coloca en la prensa de ensayo, sometida al sistema de cargas esquematizado en la Figura 4. El tren de cargas, consistente en dos cargas puntuales de igual magnitud, se aplica sobre los tercios de la pieza.



Figura 10. Probeta montada en prensa para antes del ensayo de carga

El ensayo se realiza hasta que se observa la primera fisura en la viga de hormigón, y en correspondencia con ese estado, se toma la carga que produce el mismo. Esa carga es la citada en las expresiones (8) a (11).

En particular la ecuación (11), permite calcular la tensión cortante horizontal en rotura.

Gohnert <sup>[3]</sup> ha propuesto una relación empírica entre la resistencia especificada a la compresión  $f'_{cu}$  del hormigón in situ, y la tensión cortante horizontal en la interfaz, que resulta de aplicación general para cualquier tipo de materiales en contacto.

$$v_{he} = 0.025 * f'_{cu} + 0.377 \quad (15)$$

Expresadas  $f'_{cu}$  y la constante en MPa.

En la Tabla 1, se dan los valores de las cargas de fallas en cada una de las probetas ensayadas, la tensión de corte horizontal y la tensión de corte calculada según (15).

Probeta prismática	$f'_{cu}$ de hormigón de la pieza prefabricada*	$f'_{cu}$ de hormigón in situ	Carga de falla en ensayo de flexión	Tensión de corte horizontal en la interfaz según (11)	Tensión de corte horizontal según (15)
n°	[Mpa]	[Mpa]	[kN]	[Mpa]	[Mpa]
1-1	30.00	11.30	13.17	0.60	0.66
1-2			15.52	0.70	
1-3			12.82	0.58	
1-4			14.27	0.65	
2-1	30.00	27.40	16.00	1.02	1.06
2-2			18.00	1.14	
2-3			25.60	1.63	
2-4			18.00	1.14	

\* Según datos del fabricante. En [www.tensolite.com.ar](http://www.tensolite.com.ar)

Tabla 1. Comparación entre tensión cortante horizontal calculada experimentalmente y calculada por fórmula empírica (15)

## Conclusiones

Al comparar los resultados obtenidos experimentalmente, y relacionados mediante el desarrollo que culmina en la expresión (11), con el provisto por la fórmula empírica (15), se observa una aproximación aceptable de ésta última para predecir la tensión cortante horizontal en la interfaz, para el caso en que no se coloquen refuerzos de armadura en la misma.

Se verifica entonces, para las muestras analizadas, una relación entre la tensión cortante horizontal y la resistencia especificada a la compresión, en una forma sencilla y de fácil aplicación. No obstante estos resultados, y al no haberse estudiado con criterios de certidumbre en la seguridad, esta relación no puede utilizarse con fines de diseño y verificación <sup>[2]</sup>.

## **Agradecimientos**

A todos los alumnos becarios del proyecto por su colaboración en la realización de los ensayos. Al personal del Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Facultad Regional Paraná de la U.T.N.

## **Referencias**

[1] Iraola Valdés, N. y Larrúa Quevedo, R. Resistencia al esfuerzo cortante en entresijos compuestos con losas huecas pretensadas y losa in situ de hormigón armado (topping). Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería Vol. n° 72 ISSN 0121-5132. Octubre - Diciembre de 2008. pp. 7-19

[2] Gohnert, M. Proposed theory to determine the horizontal shear between composite precast and in situ concrete. Cement & Concrete Composites n° 22. Agosto de 2000. pp. 469 – 476.

[3] Gohnert, M. Horizontal shear transfer across a roughened surface. Cement & Concrete Composites n° 25. Julio de 2002. pp. 379 – 385.

[4] ACI Committee 318 (2005). “Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-05) and Commentary (ACI 318R- 05)”. American Concrete Institute.