



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA**  
Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona



**Departament de Construccions Arquitectòniques I**

**REPARACIÓN Y  
REFUERZO DE PAREDES  
DE OBRA DE  
FÁBRICA. ESTUDIO  
EXPERIMENTAL DE LA  
RESPUESTA ANTE  
TENSIONES DE CORTE**

TESIS DOCTORAL DE:  
**GERARDO ARAIZA GARAYGORDÓBIL**

DIRIGIDA POR:  
**PERE ROCA I FABREGAT**

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN, ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE  
INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS DE BARCELONA

TUTORÍA:  
**ALBERT CASALS BALAGUE**

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES ARQUITECTÓNICAS I, ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE  
ARQUITECTURA DE BARCELONA

BARCELONA, JUNIO DE 2005



# CAPÍTULO

# 5

A N Á L I S I S   D E   R E S U L T A D O S





## 5.1. INTRODUCCIÓN

En éste capítulo se presenta el análisis de los resultados obtenidos en las campañas experimentales. Se enfatizan los aspectos característicos detectados en los especímenes de ensayo individuales, correspondientes a las campañas de rotura de paneles reparados (3.2) y de rotura de paneles reforzados con CFRP (3.4) y los rasgos generales de comportamiento detectados en las campañas de rotura de probetas (3.3 y 3.5).

El capítulo está constituido por cinco subapartados, incluyendo la introducción. En la tabla 5.1 se describe brevemente el contenido de cada sección.

Subapartado	Contenido
5.2	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS PANELES REPARADOS CON INYECCIÓN DE RESINA LÍQUIDA EPOXI Y RESTITUCION PARCIAL DE MORTERO
5.3	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE PROBETAS REFORZADAS CON TEJIDOS Y LAMINADOS CFRP
5.4	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS PANELES REFORZADOS CON TEJIDOS Y LAMINADOS CFRP
5.5	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE PROBETAS REFORZADAS CON COMPUESTOS FRP Y OTROS MATERIALES

**Tabla 5.1 — Contenido de los subapartados que conforman el capítulo 5.**

En el subapartado 5.2 se cotejan los valores de últimos de la carga tangencial, obtenidos en los ensayos de rotura de paneles reparados con inyección y restitución de conglomerantes; con los resultados conseguidos por Sánchez (2001) a través de ensayos de paneles intactos; se muestran y describen las variaciones porcentuales.

Enseguida se describe el comportamiento de los paneles reforzados con inyección de resina epoxi y morteros cementicio y epoxi. Se muestran gráficas del comportamiento tensión-deformación de cada ensayo de ésta investigación y, se comparan con el comportamiento estimado para paneles sujetos a cargas normales equivalentes; y con curvas obtenidas de ensayos de paneles intactos. Por último se establecen las consideraciones finales de ésta campaña.

En el subapartado 5.3. se presenta el análisis de los resultados obtenidos en la campaña de rotura de probetas reforzadas con CFRP, sometidas a procesos monotónicos de carga y a tensiones de corte. Se muestran curvas tensión-deformación representativas del comportamiento correspondiente a las características de aplicación de los tratamientos estudiados. Se describen los pormenores del funcionamiento mecánico y resistente registrado; y se concluye con una serie de observaciones generales.

El subapartado 5.4. contiene la descripción de análisis de datos realizado a partir de los resultados de los paneles reforzados con CFRP. Los resultados se cotejan con los registros de Sánchez (2001) de paneles no reforzados, por medio de una gráfica de dispersión de puntos.

Se confrontan los valores resistentes de cada panel y se evalúa el comportamiento bajo distintos parámetros. Se presentan curvas comparativas de tensión-deformación. Y se establece una serie de consideraciones finales.

En el subapartado 5.5. se despliega el análisis de resultados de campaña de rotura de probetas reforzadas con materiales compuestos GFRP y AFRP, madera micro-laminada y baldosas cerámicas. Se describe cualitativamente el comportamiento tensión-deformación de las probetas reforzadas con los diferentes tratamientos y variaciones de los mismos. Se presentan envolventes de rotura y se proponen modelos de comportamiento ligados a las directrices observadas.

Se hace un comparativo de la eficacia de los tratamientos de refuerzo; en términos de resistencia última tangencial, valores de cohesión, ángulo de rozamiento y características de fallo.

## **5.2. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS PANELES REPARADOS CON INYECCIÓN DE RESINA LÍQUIDA EPOXI Y RESTITUCION PARCIAL DE MORTERO**

### **5.2.1. Introducción**

En el análisis del comportamiento de los paneles reparados con inyección de resina líquida epoxi y restitución parcial de mortero, se consideran básicamente dos aspectos: el desempeño de los sistemas de reparación utilizados, (reflejado en el comportamiento mecánico de los paneles), y la complejidad práctica de los procedimientos de reparación.

Primeramente se presenta una gráfica de puntos, en donde se correlaciona la envolvente de rotura biaxial determinada por Sánchez (2001) y las tensiones normales y tangenciales aplicadas a todos los ensayos de la campaña actual. De esta manera se identifica la correspondencia que hay entre los valores de tensión normal aplicados a los paneles, y los niveles últimos de tensión tangencial; tanto de los paneles intactos como en los especímenes intervenidos con los procesos de reparación estudiados.

A partir de los datos arrojados en los paneles intactos (especímenes sometidos a cargas normales de 150 y 250 kN) se determinan los valores últimos de carga tangencial, de paneles sujetos a una carga normal de 200 kN, similar a la aplicada a los especímenes de la campaña actual.

Según los parámetros determinados tanto en los paneles intactos como en los reparados, se lleva a cabo un cotejo, entre el comportamiento mecánico original de los paneles y los cambios que estos presentan después de ser reparados. El nivel de complejidad práctica de las aplicaciones, se evalúa conforme a la dificultad de ejecución de cada tratamiento y a la exigencia de conocimientos y especialización técnica exigida para cada caso.

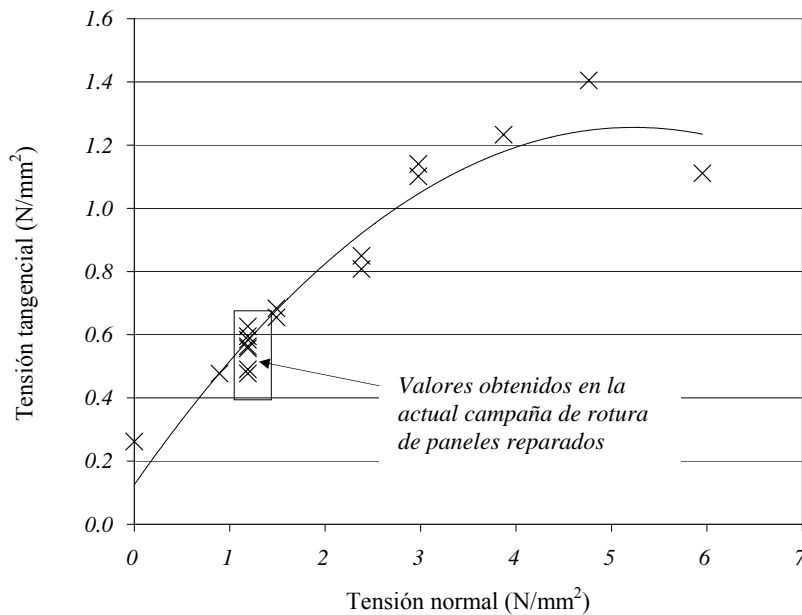
Por último se formulan las pautas de comportamiento identificadas en esta campaña experimental.

### **5.2.2. Análisis de resultados**

Los valores resistentes obtenidos en la campaña actual se insertan en la envolvente de rotura biaxial de paneles sin refuerzo, obtenida por Sánchez (2001).

Los puntos denotan claramente su aproximación al nivel predecible de tensión tangencial para paneles intactos sujetos a una carga normal análoga, de 200 kN. Esto revela, a grandes rasgos, que los procesos de reparación restituyen en su totalidad la resistencia original de los paneles (figura 5.1).

Ahora bien, un análisis comparativo de la eficacia y la complejidad entre los siete ensayos realizados, revela información más extensa de las particularidades de los materiales y tratamientos de reparación estudiados.



**Figura 5.1 — Inserción de los valores de tensión obtenidos en la campaña de rotura de paneles reparados en la envolvente de rotura de paneles intactos obtenida por Sánchez (2001).**

El panel 5 es el valor más alto, ya que alcanza una tensión cortante última de  $105.2 \text{ kN} = 0.63 \text{ N/mm}^2$  y el valor más bajo es aportado por el panel 1, con  $80.2 \text{ kN} = 0.48 \text{ N/mm}^2$

La dificultad de aplicación de los procesos de reparación se computa conforme a tres niveles, denominados *mínimo*, *medio* y *máximo* (tabla 5.2). El nivel de dificultad mínimo implica solo la limpieza elemental del panel y la aplicación de mortero (Paneles 1 y 2, descritos en los subapartados 4.2.2 y 4.2.3 del capítulo 4). El nivel medio involucra además la modificación del panel con ayuda de una herramienta eléctrico-mecánica (Paneles 3, 4 y 5, descritos en los subapartados 4.2.4, 4.2.5 y 4.2.6 del capítulo 4) y el nivel máximo requiere mayor conocimiento técnico, como el sellado de la superficie y la inyección de resina (paneles 6 y 7, descritos en los subapartados 4.2.7 y 4.2.8 del capítulo 4).

Para valorar los tratamientos de reparación analizados se considera la eficacia y el nivel de dificultad del procedimiento de reparación. Puede verse por ejemplo que el panel 1 alcanza un valor porcentual de resistencia de 83.3 frente al panel intacto, con un nivel mínimo de dificultad práctica del tratamiento; y el panel 5 presenta un valor porcentual de 109.3 ante el panel intacto, y un nivel de dificultad medio.

A partir del promedio obtenido de los paneles M15V8H (sujeto a una carga normal de 150 kN) y, M25V11H y M25V12H sometidos a una carga normal de 250 kN (valores obtenidos por Sánchez, 2001) se calcula la carga tangencial máxima y se estima la curva de comportamiento de especímenes no reforzados sujetos a una carga normal de 200 kN.

En la figura 5.2 se muestran los valores porcentuales de tensión tangencial de los paneles reparados en confrontación con los valores del panel intacto. También se incluye el nivel de dificultad práctica de los tratamientos de reparación.

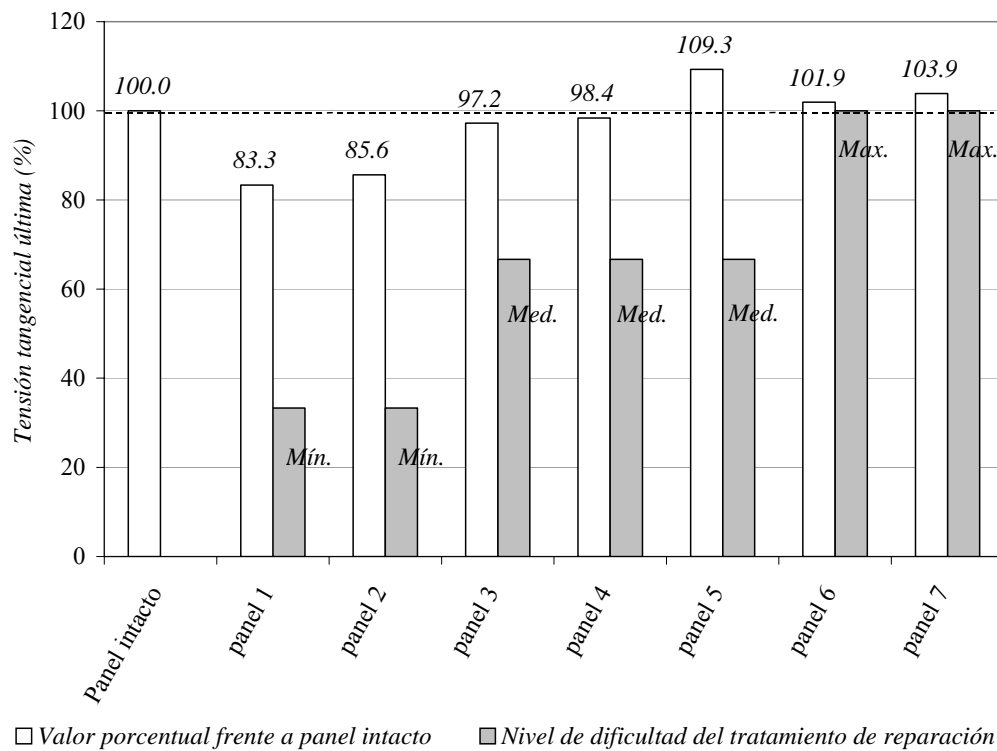


Figura 5.2 — Cotejo de los valores porcentuales de tensión tangencial de los paneles reparados y de los paneles intactos; y nivel de dificultad práctica de los tratamientos de reparación.

### 5.2.3. Comportamiento

El análisis de los resultados obtenidos de los paneles reparados y su cotejo frente a los resultados utilizados como referencia; y la ejecución de ensayos únicos de cada procedimiento de reparación, permiten establecer algunas directrices del comportamiento.

A continuación se presenta el análisis de cada ensayo y la confrontación con los datos arrojados por los paneles intactos. Después se señalan las principales características mostradas en el comportamiento mecánico. En la figura 4.21 se describen los parámetros generales obtenidos, en donde  $N$  es la carga normal;  $u$  es el decremento de la altura del panel;  $\varepsilon = \frac{u}{L}$  es la deformación normal al panel;  $\sigma_n = \frac{N}{B \cdot t}$  es la tensión normal;  $v$  es la carga tangencial;  $\delta$  es el desplazamiento horizontal;  $\gamma = \text{tg} \alpha = \delta/h$  es la distorsión angular;  $\tau = \frac{v}{A}$  es la tensión tangencial;  $A = B \cdot t$  es la sección del panel;  $E = \frac{\sigma_n}{\varepsilon}$  es el módulo de Young y  $G = \frac{\tau}{\gamma}$  es el módulo de deformación transversal (figura 5.3).

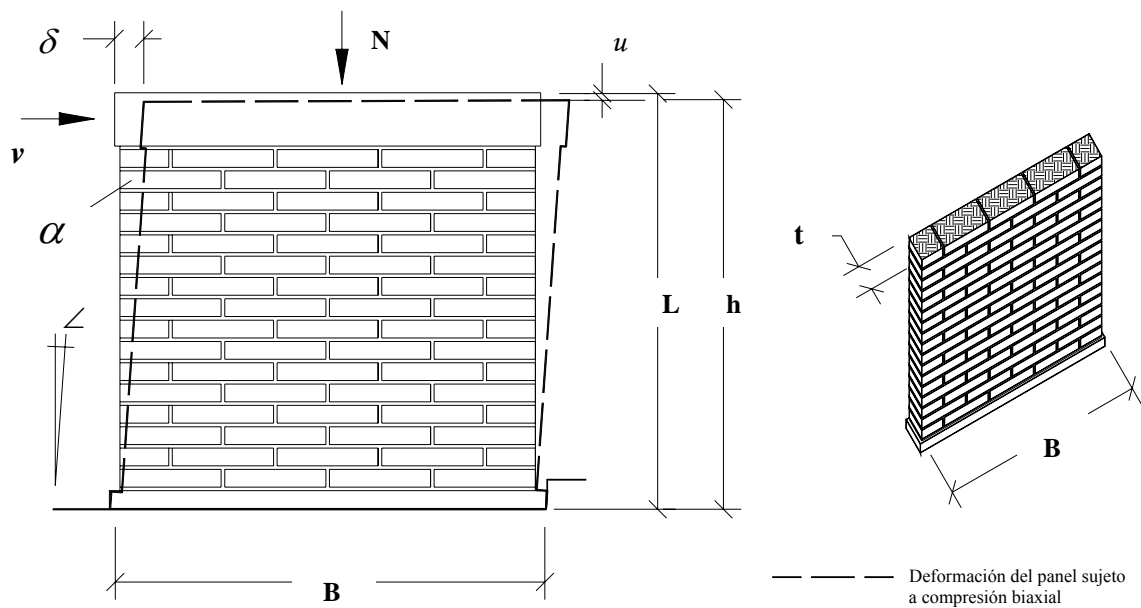


Figura 5.3 — Parámetros considerados en el análisis del comportamiento de los paneles en las campañas actual y precedente.

En la tabla 5.2 se presentan los valores registrados en la campaña actual y los obtenidos en los ensayos de paneles no reforzados precedentes, realizados por Sánchez (2001), mismos que se presentan entre paréntesis y en cursiva.

<i>Ensayos</i>	$u$	$\varepsilon$	$v$	$\gamma$	$E$	$G$
Campaña actual (Sánchez, 2001)	(mm)		(mm)		(N/mm <sup>2</sup> )	
Panel 1	0.1250	0.0001	53	0.0461	11040	10
(M25V11H)	0.7090	0.0006	27.5	0.0239	2401	27
Panel 2	6.2500	0.0054	32	0.0280	221	18
(M25V12H)	0.5960	0.0005	24	0.0209	2856	33
Panel 3	0.3000	0.0003	105	0.0913	4600	6
(M40V14H)	0.2717	0.0002	3.4	0.0030	10074	287
Panel 4	0.1250	0.0001	50	0.0435	11040	13
(M15V8H)	0.4450	0.0004	32.5	0.0283	2308	17
Panel 5	0.2000	0.0002	30	0.0261	6900	24
(M80V23H)	1.5900	0.0014	34	0.0296	3443	47
Panel 6	0.0625	0.0001	90	0.0783	22080	7
(M50V19H)	0.4343	0.0004	20	0.0174	7865	66
Panel 7	7.5000	0.0065	90	0.0788	184	8
(M65V21H)	0.5730	0.0005	45	0.0391	7747	31
M40V13H	0.9500	0.0008	22.5	0.0196	2881	41
M50V18H	0.2761	0.0002	15	0.0130	12371	84

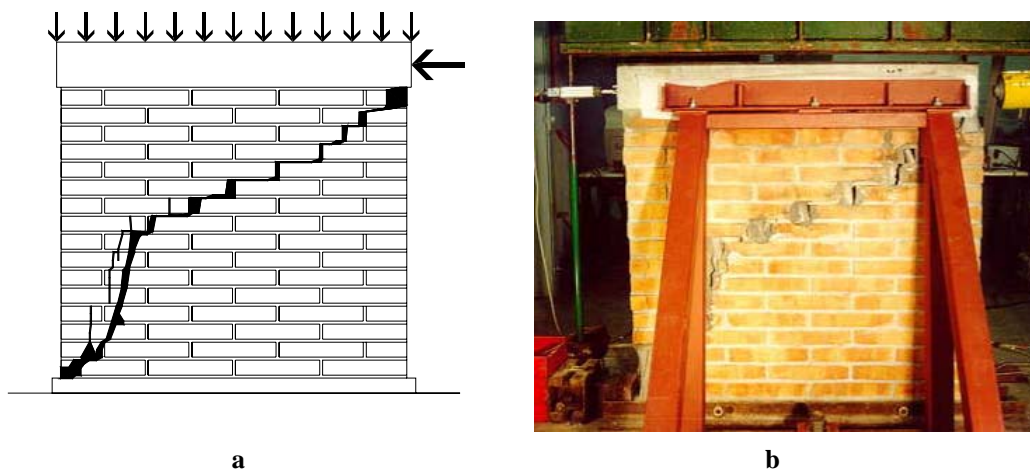
Tabla 5.2 — Parámetros registrados en los ensayos de la campaña actual y los obtenidos por Sánchez (2001).

A continuación se realiza un comparativo entre las curvas de comportamiento de la campaña actual (paneles sujetos a una carga normal de 200 kN) con los paneles no reparados correspondientes, procedentes de la campaña experimental de Sánchez (2001), quien emplea en sus ensayos niveles de carga normal de 150, 250, 400, 500, 650, 800 y 1000 kN. En los gráficos se incluye la curva de comportamiento estimada para paneles intactos sujetos a 200 kN de carga normal.

Después del análisis comparativo se presenta una tabla de valores. La tabla muestra porcentajes de variación, entre los valores de carga tangencial máxima, desplazamiento horizontal y módulo de deformación transversal de la actual campaña y, los valores estimados en paneles intactos sujetos a una carga normal equivalente.

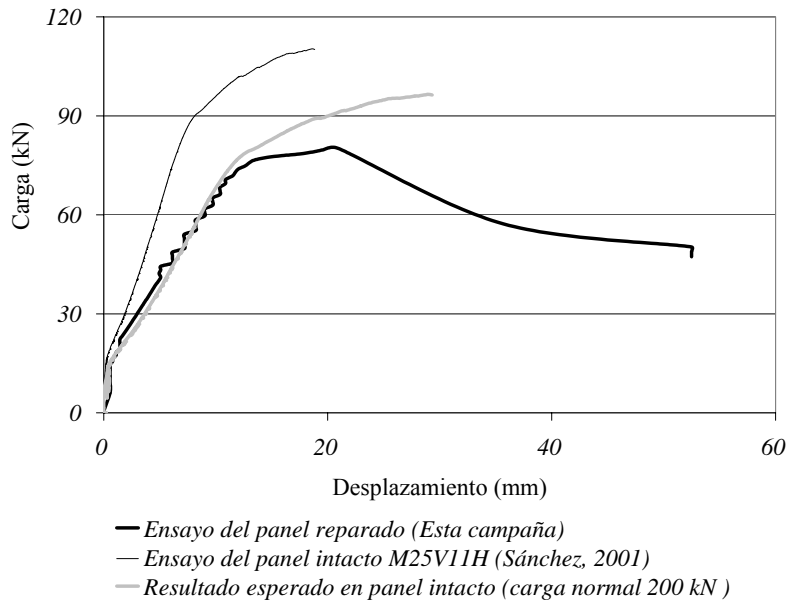
En el ensayo del panel intacto *M25V11H*, precedente al ensayo del *panel 1* reparado, se aplica una carga vertical de 250 kN; y la carga tangencial máxima alcanzada es de 110 kN, como se describe en el subapartado 3.2.3. del capítulo 3. Presenta una rotura continua y ligeramente escalonada, con una trayectoria diagonal y curvada que va desde el vértice de aplicación de la carga hasta al vértice opuesto. La línea de rotura es visible principalmente en las juntas de mortero verticales. La apertura de fisura en las zonas coincidentes con las juntas horizontales es apenas perceptible (figura 5.4-a).

El *panel 1*, sometido a una carga vertical de 200 kN (20% menor respecto al panel intacto), muestra un comportamiento mecánico similar durante el ensayo: la carga tangencial máxima alcanzada es igual a 80.2 kN (27% por debajo del valor del panel no reparado). La línea de rotura sigue la trayectoria original, exhibiendo el desplazamiento por la separación de las juntas verticales (figura 5.4-b).



**Figura 5.4 — (a) Estado de daño original del panel *M25V11H*; (b) Mecanismo de fallo del panel 1 reparado.**

El modo de fallo en el panel intacto es dúctil y el comportamiento del panel reparado presenta aún mayor ductilidad; esto se refleja en la amplitud de las curva carga-desplazamiento (figura 5.5).



**Figura 5.5** — Curvas carga-desplazamiento del panel 1 de la campaña actual; en conjunto con la de un panel sin refuerzo ensayado por Sánchez (2001) sujeto a una carga normal de 25 kN; y la curva estimada para un panel sujeto a 20 kN.

El panel reparado presenta valores del módulo de Young y de deformación transversal mayor y menor, respectivamente, frente a los valores mostrados por el panel precedente, ya que durante la compresión vertical el panel reparado presenta menor deformación frente al panel intacto; y durante el proceso tangencial de carga muestra un desplazamiento más amplio.

El *panel 2* muestra un comportamiento similar al exhibido por el panel 1. En su origen (*ensayo M25V12H*) el panel sujeto a una carga vertical de 250 kN, resiste una carga horizontal máxima de 114 kN. Presenta una línea de rotura continua y escalonada, con una trayectoria diagonal y curvada que va desde el vértice de aplicación de la carga horizontal hasta al vértice opuesto. La línea de rotura es visible principalmente en las juntas de mortero verticales (con una apertura aproximada a 16 mm). La apertura de la fisura en las secciones coincidentes con las juntas horizontales es apenas perceptible (figura 5.6-a) y en la parte inferior afectada por la rotura presenta algunas líneas alternas de rotura.

En el ensayo del panel reparado se aplica una carga vertical de 200 kN y el panel muestra una resistencia última a la carga horizontal de 82.4 kN. Los valores porcentuales frente al panel no reforzado son similares a los exhibidos por el panel 1 (-20% y -28%, respectivamente).

La rotura exhibida por el panel reparado ocurre en la línea original, mostrando ligera variación en la zona cercana al vértice inferior de rotura (figura 5.6-b).



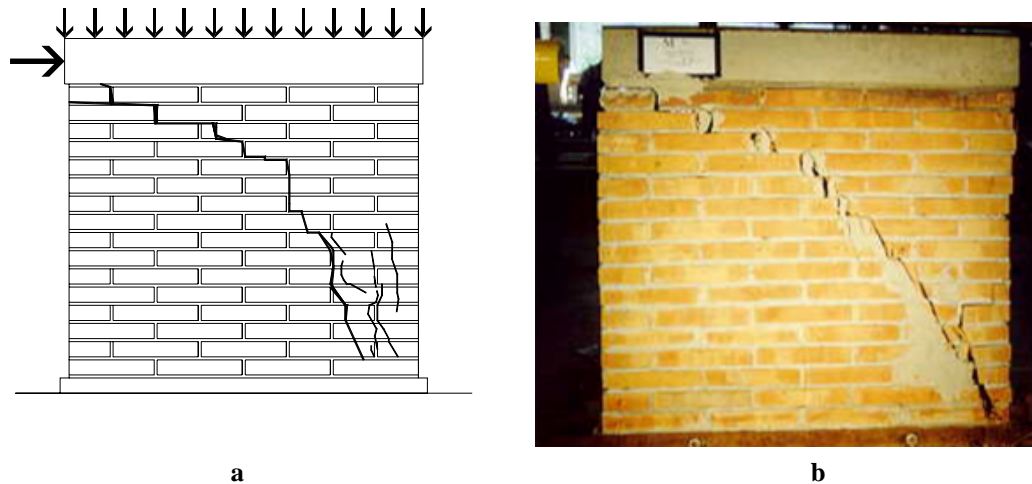


Figura 5.6 — (a) Estado de daño original del panel M25V12H; (b) Mecanismo de fallo del panel 2 reparado.

El panel reparado presenta menor deformación durante la fase de carga normal. El valor del módulo de Young es mayor que el exhibido por el panel precedente no reforzado. Así mismo, el módulo de deformación transversal es menor en el panel 2 reparado, pero solo ligeramente, ya que la deformación registrada durante la fase de carga tangencial es 25% mayor que la del panel intacto. El modo de fallo del panel después de la reparación es similar al del panel intacto, aunque se observa un ligero incremento de la ductilidad en el panel reparado. En ambos casos se presenta inicialmente un desplazamiento lineal, con una ligera tendencia al incremento de la deformación conforme al aumento de la tensión cortante. El desplazamiento permitido por el panel reparado es ligeramente más amplio (figura 5.7).

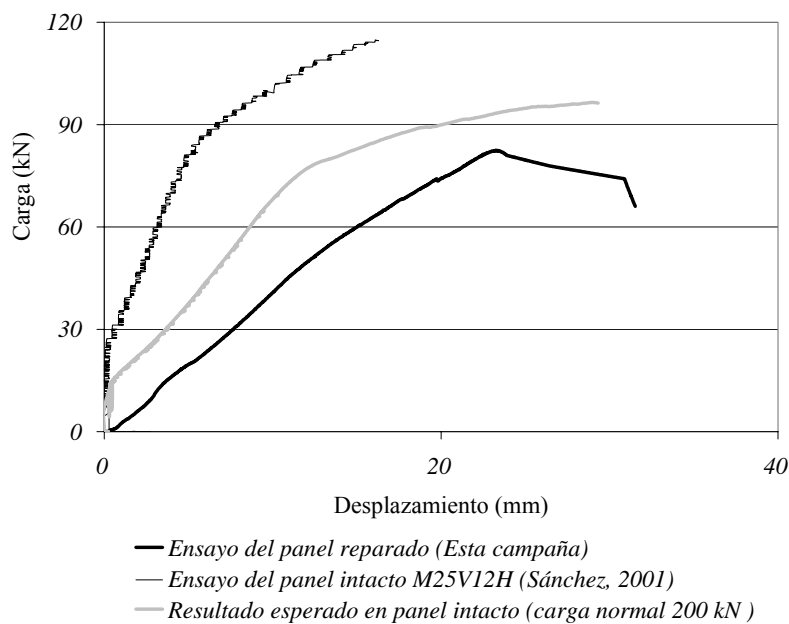
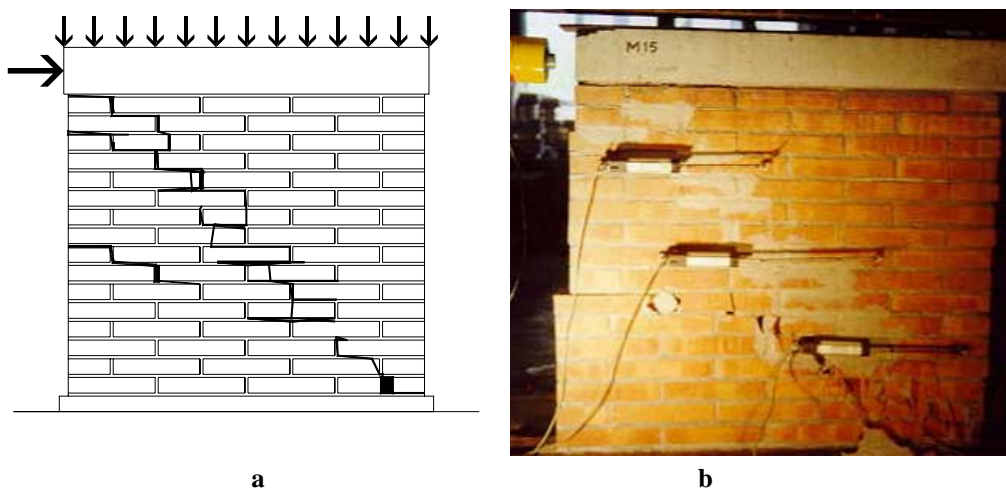


Figura 5.7 — Curvas carga-desplazamiento del panel 2 de la campaña actual; de un panel sin refuerzo ensayado por Sánchez (2001) sujeto a una carga normal de 25 kN; y la curva estimada para un panel sujeto a 20 kN.

El ensayo del panel intacto M40V14H, precedente del *panel 3*, es sometido a una carga vertical de 400 kN y falla cuando la carga horizontal supera 142 kN (la valor de la carga normal dobla al aplicado posteriormente en el ensayo del panel reparado).

La rotura se manifiesta principalmente por el desplazamiento horizontal de la parte superior del panel. Aparecen líneas de fractura en múltiples juntas horizontales, a lo largo de una franja diagonal que va desde el vértice cercano a la aplicación de la carga, hasta el vértice opuesto. El espesor en las secciones verticales de la línea de rotura va de 2 a 5 mm. También exhibe una línea de rotura a media altura del panel, escalonada y descendente (figura 5.8-a).

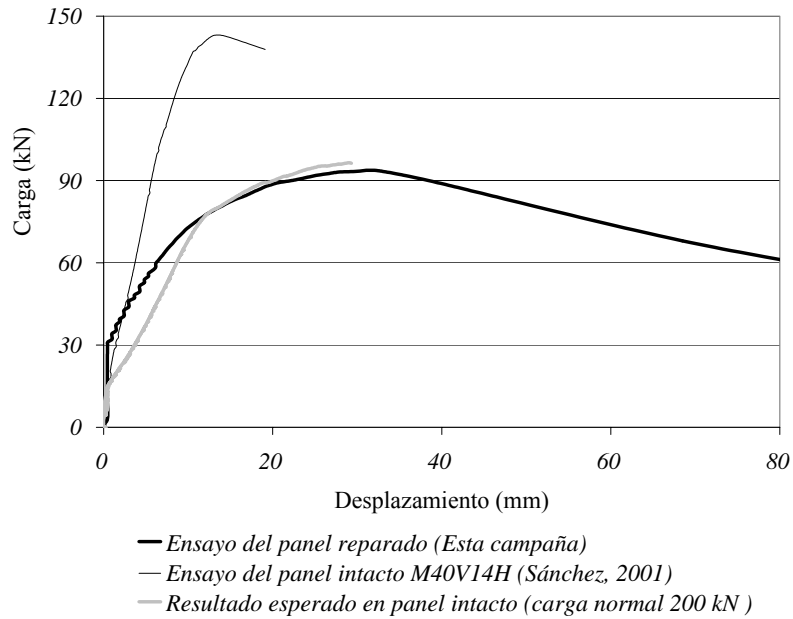


**Figura 5.8 — (a) Estado de daño original del panel M40V14H (b) Mecanismo de fallo del panel 3 reparado.**

La rotura del espécimen reparado sigue una trayectoria distinta a la exhibida en el ensayo de origen. La rotura ocurre cuando la carga tangencial supera 80 kN. La línea de fisura marca claramente su inicio y recorrido: nace en la línea de fisura original a la altura intermedia del panel. Sigue una trayectoria horizontal y en el centro del panel cambia de dirección y desciende diagonalmente hasta la base. Las juntas reparadas se mantiene unidas (figura 5.8-b).

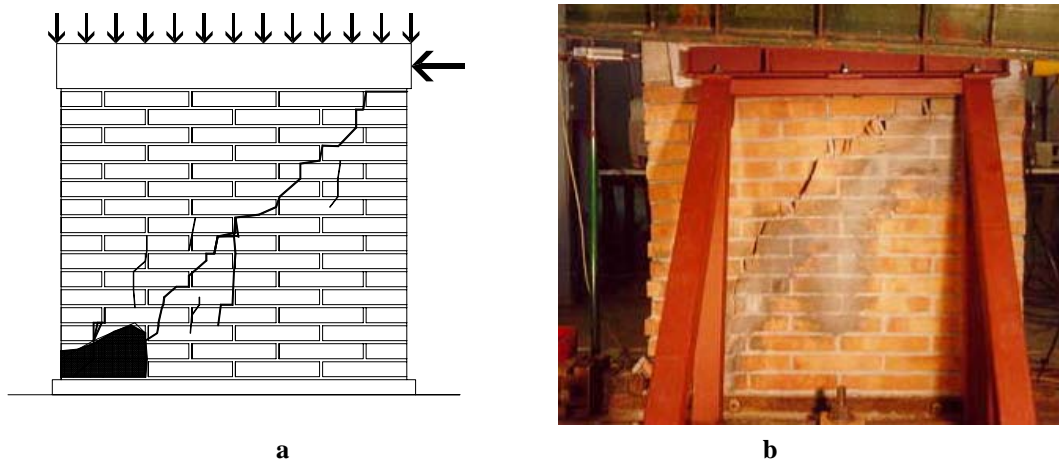
El desplazamiento horizontal del panel intacto marca una directriz lineal, con un fallo de tipo dúctil tras un recorrido ligeramente superior a 20 mm. El espécimen reparado manifiesta mayor ductilidad con un desplazamiento horizontal continuo, en un nivel estable de resistencia residual (figura 5.9).

El panel 3 manifiesta ligeramente mayor compresión que el panel intacto, durante la fase de carga vertical (0.3 y 0.2 mm, respectivamente). Durante la fase de carga tangencial el panel reparado manifiesta claramente mayor ductilidad que el panel intacto.



**Figura 5.9** — Curvas carga-desplazamiento del panel 3 de la campaña actual; de un panel sin refuerzo ensayado por Sánchez (2001) sujeto a una carga normal de 25 kN; y la curva estimada para un panel sujeto a 20 kN.

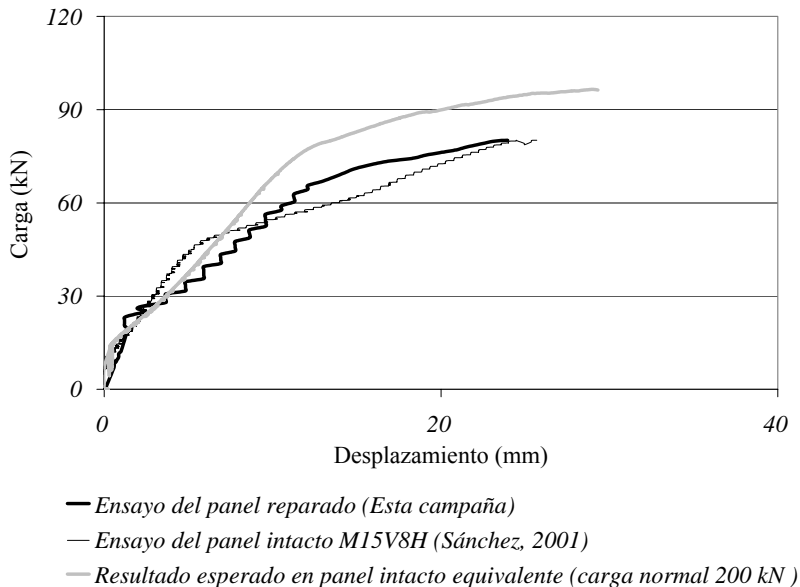
En su origen, el *panel 4* es sometido a una carga vertical de 150 kN (ensayo M15V8H). Durante el proceso de carga horizontal alcanza una resistencia última de 80 kN. La rotura muestra claramente una línea principal diagonal, que va desde el vértice inmediato a la aplicación de la carga hasta el vértice inferior opuesto. En el extremo inferior de la fisura exhibe aplastamiento y pérdida de fragmentos de las piezas de fábrica (figura 5.10-a).



**Figura 5.10** — (a) Estado de daño original del panel 4; (b) Mecanismo de fallo del panel reparado.

La rotura del panel reparado es semejante a la de origen, pero forma una línea independiente. La trayectoria es paralela a la original. En la figura 5.10-b puede verse claramente la zona reparada y la línea de rotura.

El comportamiento durante el proceso de carga horizontal muestra gran similitud en los ensayos original y posterior a la reparación. Es importante subrayar que durante el ensayo del panel intacto se genera una tensión normal relativamente baja, igual a  $0.89 \text{ N/mm}^2$  y el panel reparado es sometido a un nivel de tensión normal superior, igual a  $1.2 \text{ N/mm}^2$  (figura 5.11).



**Figura 5.11 — Curvas carga-desplazamiento del panel 4 de la campaña actual; en conjunto con las de un panel sin refuerzo ensayado por Sánchez (2001) sujeto a una carga normal de 25 kN; y la curva estimada para un panel sujeto a 20 kN.**

El panel intacto M80V23H (precedente al *panel 5*) es sometido a una carga vertical de 800 kN, que genera en el espécimen una tensión normal de  $4.8 \text{ N/mm}^2$ .

La rotura por tanto ocurre bajo una carga horizontal de 236 kN (con una tensión normal =  $1.4 \text{ N/mm}^2$ ) presentando una línea principal y algunas líneas de fisura secundaria con orientación vertical.

La rotura del panel reparado ocurre bajo la carga vertical estandarizada en la actual campaña experimental (200 kN) y una carga horizontal de 105.2 kN (el valor más alto entre los paneles reparados). Presenta una línea horizontal escalonada que va desde la 5ª junta horizontal de la sección inferior del panel, hasta el vértice opuesto al punto de incidencia de la carga horizontal. En la trayectoria final presenta fragmentación de algunas piezas de fábrica. Es significativo que no hay alteración de la zona reparada (figura 5.12).

En las curvas de comportamiento carga-deformación se percibe gran similitud aún cuando las tensiones normales aplicadas son claramente dispares ( $4.8$  y  $1.2 \text{ N/mm}^2$ , respectivamente). El panel reparado muestra una fase final de tipo frágil (figura 5.13).

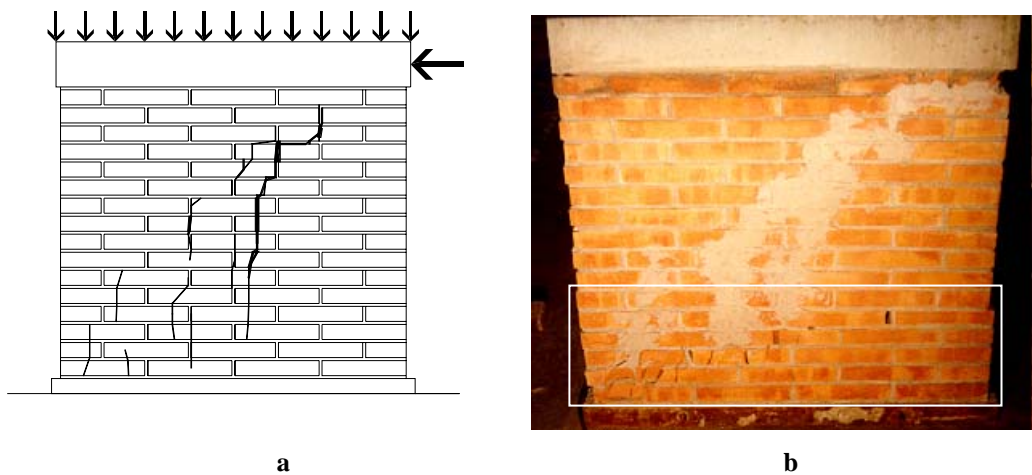


Figura 5.12 — (a) Estado de daño original del panel 5; (b) Mecanismo de fallo del panel reparado.

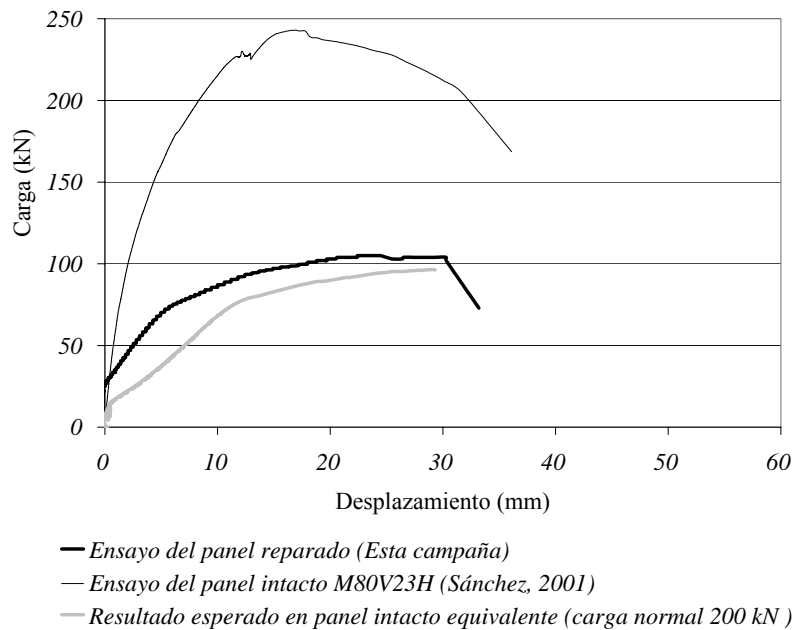


Figura 5.13 — Curvas carga-desplazamiento del panel 5 de la campaña actual; en conjunto con las de un panel sin refuerzo ensayado por Sánchez (2001) sujeto a una carga normal de 25 kN; y la curva estimada para un panel sujeto a 20 kN.

El ensayo M50V19H, precedente del *panel 6*, es sometido a una carga vertical de 500 kN. La rotura del panel ocurre cuando la carga horizontal alcanza 191.6 kN y se manifiesta en varias líneas de fisura. La zona afectada del muro es amplia y denota una trayectoria diagonal desde el vértice de aplicación de la carga horizontal hasta el vértice inferior opuesto. Las líneas son quebradas y con orientación ligeramente inclinada, casi vertical. El espesor de las fisuras varía entre 1 y 6 mm (figura 5.14-a).

La rotura del panel reparado exhibe una trayectoria parcialmente inserta en la zona dañada previamente y reparada. Presenta multi-fragmentación en la zona media de rotura y falla nuevamente en dos líneas de rotura precedentes. Sin embargo la zona central del panel (reparada) no muestra líneas de rotura.

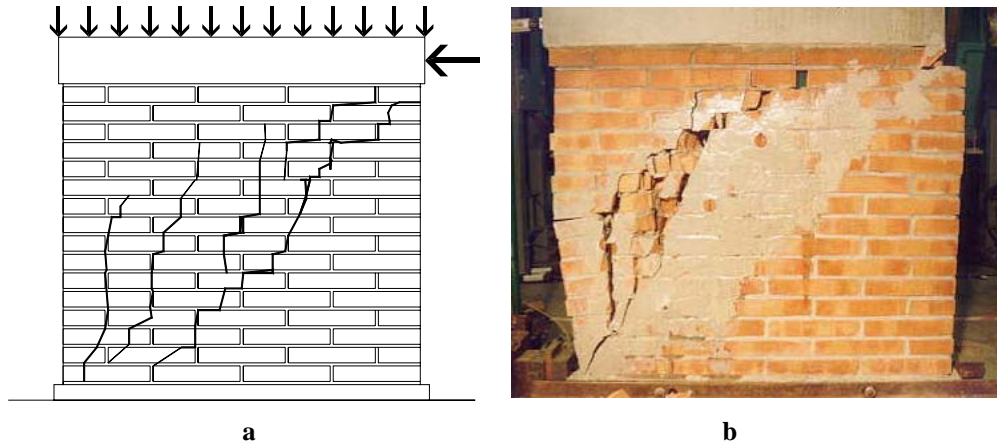


Figura 5.14 — (a) Estado de daño original del panel 6; (b) Mecanismo de fallo del panel reparado.

Todo lo anterior lleva a suponer que la trayectoria de rotura sigue las zonas menos favorecidas o intervenidas durante el proceso de reparación (figura 4.31-b). En el comportamiento carga-desplazamiento son evidentes las diferencias entre el panel intacto y reparado. En el ensayo de origen hay una línea de mayor concentración de tensiones y un fallo con ligera ductilidad. En el caso reparado hay un extenso recorrido dúctil y una pérdida gradual de la resistencia (figura 5.15).

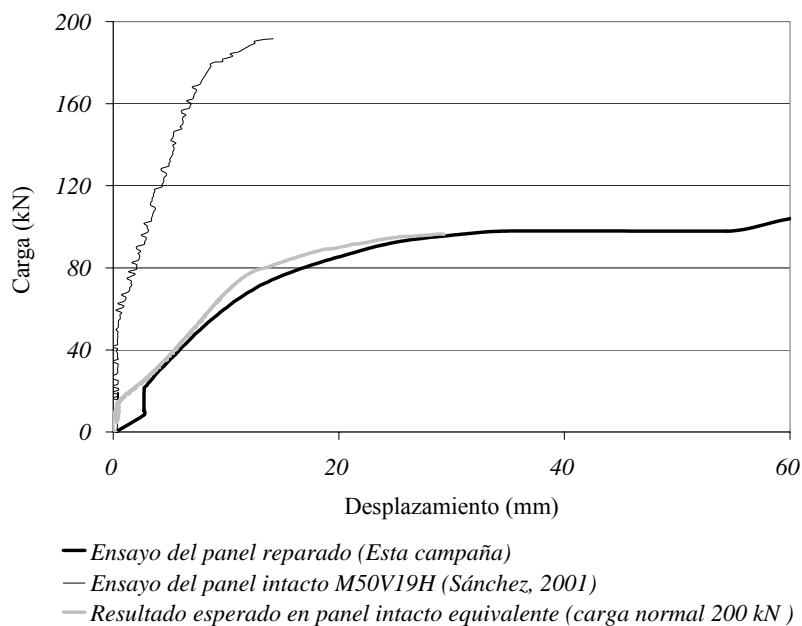


Figura 5.15 — Curvas carga-desplazamiento del panel 6 de la campaña actual; en conjunto con las de un panel sin refuerzo ensayado por Sánchez (2001) sujeto a una carga normal de 25 kN; y la curva estimada para un panel sujeto a 20 kN.

El *panel 7* (ensayo del panel intacto M65V21H) es sometido en su origen a una carga vertical de 65 kN. El fallo ocurre cuando la fuerza horizontal supera 207 kN. Debido a la elevada tensión normal la línea de rotura tiende a la verticalidad. Presenta indicios de fisura escalonada en las primeras hiladas cerca del vértice de aplicación de la carga horizontal; y una línea continua y vertical que va hasta la base al centro del panel. En el extremo final de la línea vertical presenta algunas piezas fragmentadas (figura 5.16-a).

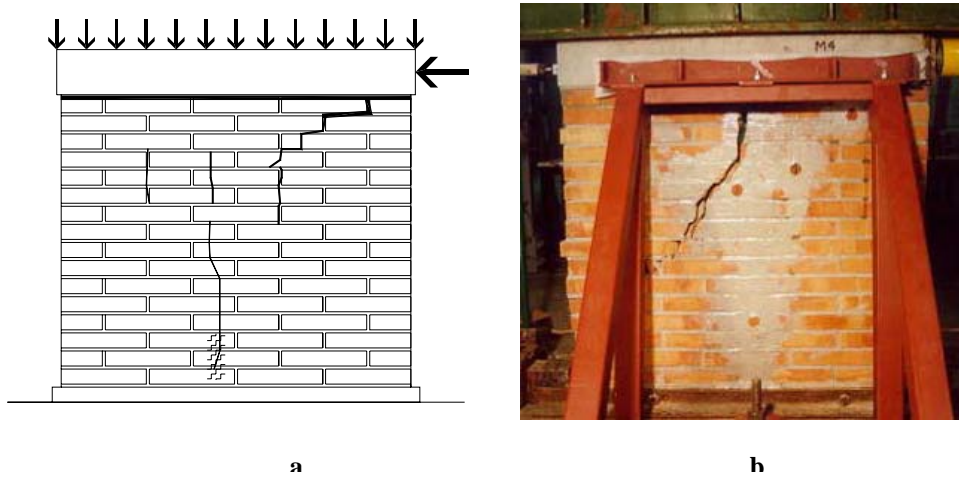


Figura 5.16 — (a) Estado de daño original del panel 7; (b) Mecanismo de fallo del panel reparado.

La rotura del panel reparado ocurre fuera de la zona previamente dañada y reparada. Muestra una línea claramente perceptible y casi vertical que nace en la parte superior y al centro del panel. En la figura 5.16-b la zona intervenida en la reparación se manifiesta por la tonalidad brillante.

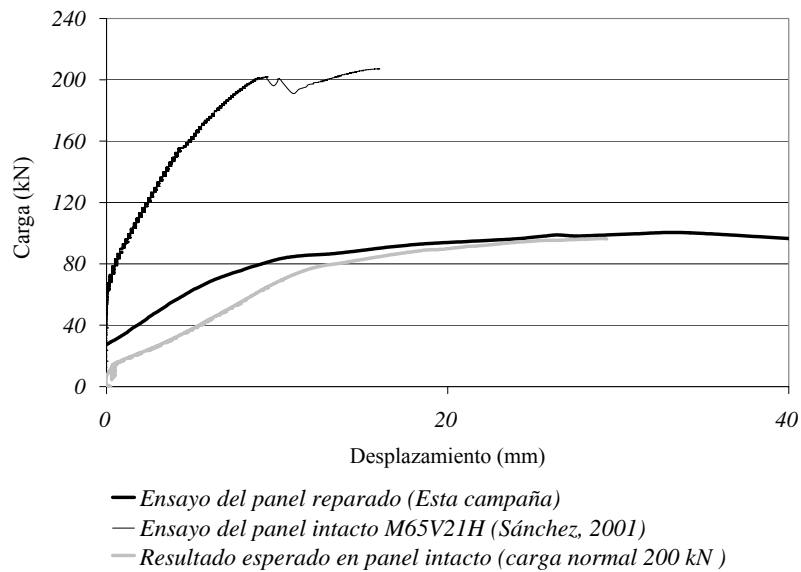


Figura 5.17 — Curvas carga-desplazamiento del panel 7 de la campaña actual; las de un panel sin refuerzo ensayado por Sánchez (2001) sujeto a una carga normal de 25 kN; y la curva estimada para un panel sujeto a 20 kN.



Los valores de tensión tangencial, desplazamiento horizontal y módulo de deformación transversal, estimados para los paneles no reforzados sujetos a una carga normal de 200 kN, se obtienen al promediar los valores correspondientes a los ensayos de paneles no reparados M15V8H (sujeto a una carga normal de 150 kN) y M25V11H y M25V12H, sujetos a 250 kN, cuyas resultantes son:  $\tau = 96.25$  ,  $\nu = 29.1$  y  $G = 22$ , respectivamente (tabla 5.3).

<i>Ensayo</i>	<i>Variación porcentual</i> ± (%)		
	$\tau$	$\nu$	<b>G</b>
Panel 1	-16.7	82	-52.7
Panel 2	-14.4	10	-20.4
Panel 3	-2.8	261	-72.1
Panel 4	-1.6	72	-41.5
Panel 5	9.3	3	9.8
Panel 6	1.9	209	-66.3
Panel 7	3.9	209	-65.4

**Tabla 5. 3 — Variación porcentual de los valores de tensión tangencial, desplazamiento horizontal y módulo de deformación transversal; de los paneles reparados, respecto a los valores estimados para paneles intactos sujetos a una carga normal de 200 kN.**

#### 5.2.4. Consideraciones finales

Todos los tratamientos de reparación estudiados resultan eficaces. Frente al comportamiento estimado de paneles de obra de fábrica intactos, sujetos a una carga normal de 200 kN ( $\sigma_n = 1.2 \text{ N/mm}^2$ ) los especímenes reparados, sometidos a idénticas condiciones arrojan valores de resistencia tangencial muy aproximados, que van desde  $-16.7$  hasta  $+9.3\%$ .

Sin embargo, a más de los efectos puramente resistentes, para evaluar los tratamientos aplicados a los paneles es importante considerar otros aspectos: el acondicionamiento previo de los especímenes; la naturaleza de los métodos y, el grado de dificultad en la práctica de los tratamientos.

Los tratamientos más sencillos estudiados (aplicados a los paneles 1 y 2) muestran los valores resistentes más bajos frente a los valores de referencia de los paneles intactos. En estos casos influye más la naturaleza del método de intervención que los propios materiales utilizados: la aplicación de mortero, limitada a los segmentos verticales de la línea de fisura, restituye solo parcialmente la continuidad mecánica de la fábrica. Los segmentos horizontales de la línea de fisura trabajan solo en función del rozamiento y de la tensión normal, de forma similar a los paneles intactos. Los paneles 1 y 2 manifiestan valores de resistencia de  $16.7$  y  $14.4\%$  menores que el valor estimado en paneles intactos.

Lo anterior, contrasta vivamente con los efectos producidos con los tratamientos aplicados a los paneles 3, 4 y 5, cuyos valores de resistencia tangencial van de  $-2.8\%$  (en los primeros) a  $+9.3\%$  en el último, frente a los paneles intactos similares. En los tres casos la preparación previa es más profunda, pues incluye la sustracción de las capas superficiales de mortero y, el desbaste sobre la línea de fisura con disco radial, tanto en los segmentos verticales como en



los horizontales. La restitución total de la continuidad mecánica en los paneles, regenera en estos la capacidad portante original.

Los tratamientos con inyección de resina epoxi líquida, aplicados a los paneles 6 y 7, implican un procedimiento de mayor complejidad técnica. Sin embargo, los niveles de restitución de la capacidad mecánica y portante en los paneles, es similar a la obtenida en los paneles 3, 4 y 5, con valores porcentuales de 1.9 y 3.9 por encima de la resistencia de los paneles intactos.

La restitución de la continuidad mecánica en los especímenes, reemplazando total o parcialmente los fragmentos dañados, influye directamente en la recuperación de la capacidad portante y el comportamiento de las paredes.

La eficacia de los tratamientos de reparación obedece a las propiedades mecánicas y resistentes de los materiales utilizados y, al acondicionamiento previo de los especímenes, que debe ser adecuado a la transmisión y absorción de las tensiones a las que los paneles están sometidos.



### 5.3. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE PROBETAS REFORZADAS CON TEJIDOS Y LAMINADOS CFRP

#### 5.3.1. Introducción

En el análisis de los resultados obtenidos en la campaña se consideran los valores resistentes medios. Igualmente se asume el desempeño y comportamiento mecánico representativo de cada grupo de probetas.

A continuación se presenta la correlación entre los parámetros registrados en los grupos: Un gráfico de las curvas carga-deformación y un diagrama de barras con valores porcentuales, tanto de la resistencia tangencial como del módulo de deformación transversal, referidos al grupo de probetas no reforzadas.

#### 5.3.2. Análisis de resultados

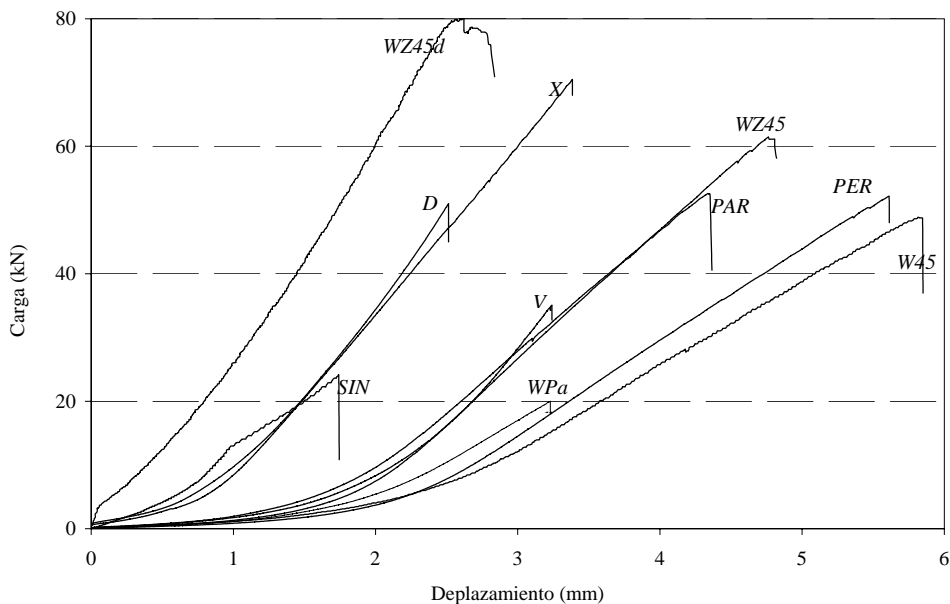
Todas las aplicaciones de refuerzo (laminado y tejido de fibra de carbono) incrementan la resistencia a cortante de las probetas. Entre los grupos reforzados con laminado CFRP, el incremento más bajo es el aportado por el conjunto *V* (subapartado 4.3.6) con un 40% sobre la resistencia media del grupo de probetas no reforzado. El porcentaje de incremento más alto es el aportado por el conjunto *X*; con un 202% sobre el conjunto sin refuerzo.

Entre los casos de probetas reforzadas con tejido CFRP, el menor incremento corresponde al conjunto *W45*, con un promedio de 84% por encima del conjunto de probetas sin refuerzo; y el mayor porcentaje de incremento corresponde al conjunto *WZ45d*, con un promedio de 242% sobre el conjunto *Sin*.

La información obtenida en esta campaña experimental permite verificar algunos cánones de comportamiento de los dos sistemas de refuerzo analizados. La ejecución de ensayos iterativos admite identificar pautas características de respuesta, conforme a los parámetros geométricos y cuantitativos determinados por cada conjunto.

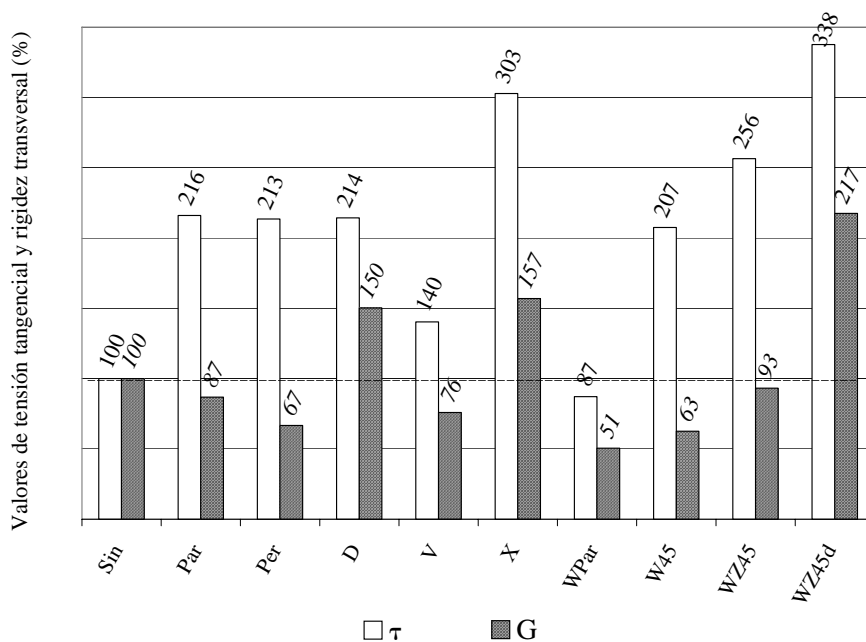
Para analizar la información, en principio se evalúa el incremento resistente de cada conjunto de probetas. Esto se lleva a cabo a partir de los datos globales (resistencia y comportamiento) registrados en los ensayos; asignando un valor porcentual a cada conjunto conforme a la referencia de control. Posteriormente, a manera de síntesis se enumeran las principales características resistentes y el desempeño de los sistemas de refuerzo aplicados; la influencia de los patrones geométricos y cuantitativos de las aplicaciones en los mecanismos de fallo y; cuales son los procesos óptimos de aplicación.

En la figura 5.18 se observan las curvas de comportamiento carga-deformación de todos los conjuntos. Los valores de rotura del conjunto de probetas sin refuerzo (*SIN*) se sitúa alrededor de 23 kN. El valor resistente máximo es del conjunto reforzado con dos capas de tejido CFRP (*WZ45d*) que alcanza una resistencia en torno a 79 kN; superando la resistencia media de las probetas no reforzadas en un 202%.



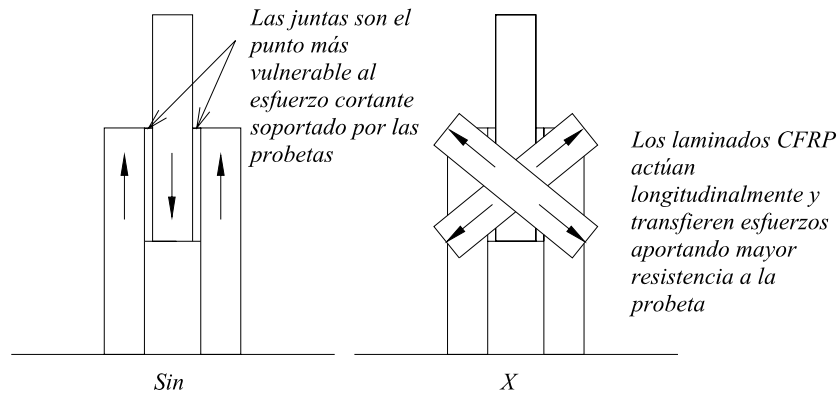
**Figura 5.18** — Curvas de comportamiento carga-deformación de un espécimen representativo de cada conjunto.

A excepción de la aplicación de tejido orientado paralelamente a las juntas de mortero, todas las aplicaciones de refuerzo aportan incrementos resistentes. La resistencia de la mayoría de las aplicaciones, se sitúa entre el 107 y el 156% por encima del valor de las probetas no reforzadas. Los valores de módulo de rigidez registrados reflejan un rango situado entre - 49 y 117%, en torno a la media de los especímenes intactos (figura 5.19).



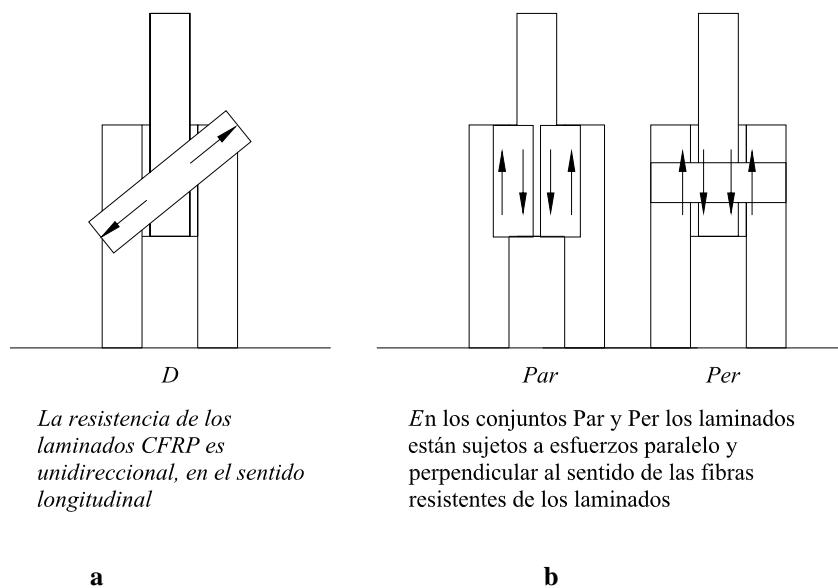
**Figura 5.19** — Variación porcentual de la resistencia media tangencial y del módulo de deformación transversal de los grupos de probetas.

Entre los conjuntos reforzados con laminado *CFRP*, son notables *V* y *X*, ya que respectivamente representan el menor y mayor incremento resistente. Lo anterior obedece a que el patrón de refuerzo aplicado es muy limitado para el primer caso citado, pues solo se realiza sobre una cara de las probetas, con una relación  $Ar/At = 0.47$ . En el conjunto de probetas *X* se optimiza la transmisión de esfuerzos de los especímenes a los laminados, debido a que la orientación de los mismos forma un ángulo en torno a  $45^\circ$  respecto a las juntas de mortero. La relación  $Ar/At = 0.82$  (figura 5.20).



**Figura 5.20** — Esquema de la transmisión de fuerzas en las probetas sin refuerzo y de la aportación resistente de las aplicaciones de refuerzo del conjunto *X*.

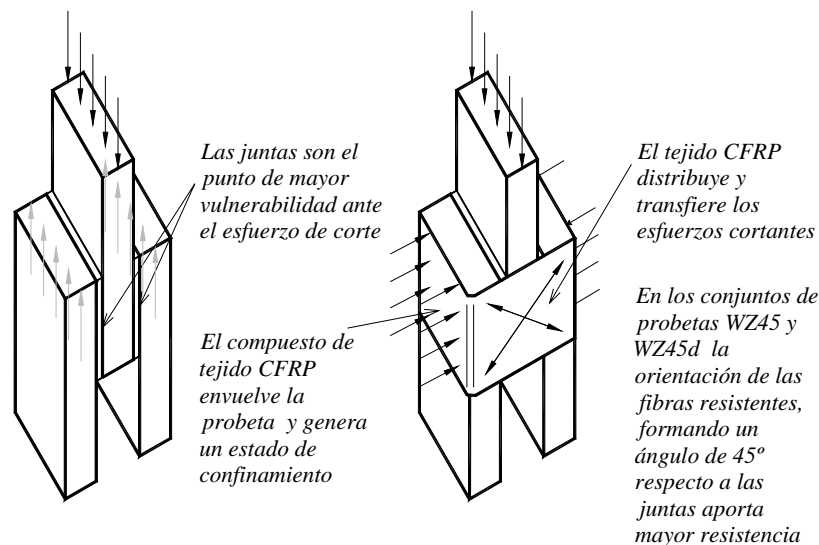
Los conjuntos *Par*, *Per* y *D*, con relaciones  $Ar/At$  de 0.59, 0.36 y 0.47 respectivamente, adquieren un incremento resistente de valores muy similares. Sin embargo, la orientación del laminado en el conjunto *D* es más conveniente, ya que los esfuerzos transmitidos por las probetas tienden a ser paralelos a la dirección de las fibras (figura 5.21-a). Los laminados aplicados a los conjuntos *Par* y *Per* reaccionan ante esfuerzos principalmente paralelos y perpendiculares a la orientación de las fibras ocasionando esfuerzos desfavorables en los laminados (figura 5.21-b).



**Figura 5.21** — Transmisión óptima de esfuerzos a través del laminado en el conjunto *D* (a); orientación poco favorable del laminado en los conjuntos *Par* y *Per* (b).

En el caso del conjunto *W45d* las condiciones geométricas y cuantitativas de aplicación son óptimas, pues el tejido colocado a manera de zuncho puede aportar las mejores prestaciones mecánicas frente a las esfuerzos a que están sujetos los especímenes. Así mismo, la orientación del tejido (formando un ángulo de  $45^\circ$  respecto a las juntas de mortero) y el empleo de dos capas de refuerzo perpendiculares entre sí, juegan un papel importante en la transferencia de esfuerzos de la probeta.

La tensión cortante que normalmente se concentraría en las juntas, se disipa a través de la superficie de las piezas de fábrica hacia la interfase (adhesivo epoxi) y al compuesto que esta conforma con las fibras resistentes (figura 5.22).



**Figura 5.22** — Descripción gráfica del funcionamiento mecánico del refuerzo aplicado en las probetas del grupo *W45d*.

La diferencia entre los conjuntos *WZ45* y *WZ45d* radica en que al primero únicamente se aplica una capa de refuerzo, por lo que su rigidez es menor, propiciando así el desprendimiento prematuro del substrato superficial de la pieza central y su desplazamiento (figura 5.23).



**Figura 5.23** — Desprendimiento superficial y desplazamiento de la pieza central en los conjuntos *WZ45* y *WZ45d*.

Por último, en el conjunto *W45*, no obstante que la aplicación cubre toda la superficie en las dos caras de las probetas, la resistencia de las mismas se asemeja a las obtenidas en los conjuntos *Par*, *Per* y *D* reforzados con laminado *CFRP* y proporciones  $A_r/A_t$  iguales a 0.59, 0.36 y 0.47 respectivamente.

A continuación se sintetizan las principales características de los parámetros analizados:

En cuanto al desempeño de los sistemas de refuerzo, tanto los laminados como los tejidos *CFRP* aportan importantes incrementos resistentes; y los dos sistemas transfieren adecuadamente los esfuerzos cortantes a través de la superficie de contacto con la fábrica. Los valores resistentes más altos, entre los grupos reforzados en los planos exteriores (perpendiculares al plano de las juntas de mortero) se han obtenido de uno de los conjuntos reforzados con laminado (el conjunto *X*).

En los casos de refuerzo con aplicaciones de tejido *CFRP*, los valores más altos han sido registrados en el grupo *WZ45d*, en donde la aplicación de refuerzo envuelve a las probetas a manera de zuncho y emplea dos capas superpuestas de tejido.

Los patrones geométricos de aplicación de los refuerzos influyen directamente en la capacidad resistente de las probetas: las aplicaciones mejor adaptadas a la transmisión de tensiones de los especímenes aportan a estos mayores incrementos. La influencia del patrón geométrico es claramente perceptible al comparar la resistencia de los conjuntos *WPar* y *W45*.

En el primer caso la orientación de las fibras del tejido es paralela a las juntas; y la resistencia media de las probetas es análoga al conjunto no reforzado. A diferencia de ello, es evidente el incremento de la resistencia en el conjunto *W45*, en donde la orientación de las fibras forma un ángulo de 45° respecto a las juntas y a la carga cortante.

Así mismo influye el área de contacto entre la superficie del espécimen reforzado y el refuerzo adherido. Esto puede comprobarse entre los conjuntos *D* (en donde la relación  $A_r/A_t$  es 0.47 y la resistencia media es de 50.4 kN) y el conjunto *X*, con una proporción  $A_r/A_t$  igual a 0.82 y una resistencia media de 71.2 kN.

### 5.3.3. Consideraciones finales

El análisis de los resultados obtenidos en la campaña experimental permite plantear algunas observaciones generales frente a los siguientes conceptos: las características de los sistemas o tratamientos de refuerzo aplicados; la relación geométrica entre la orientación resistente de las bandas de refuerzo, con la mecánica de transmisión de tensiones del elemento reforzado; el equilibrio mecánico de la transmisión de esfuerzos de los especímenes reforzados y; las ventajas del confinamiento del elemento estructural con el sistema de refuerzo.

Las características físicas, geométricas y mecánicas del material de refuerzo influyen principalmente en el nivel de dificultad de aplicación. Frente a los laminados, los tejidos de fibra ofrecen gran adaptabilidad a la forma y textura irregulares de los especímenes de obra de fábrica. Así mismo, estos factores influyen directamente en el nivel de dificultad del

tratamiento. La manipulación de los laminados CFRP, durante su preparación y aplicación, es más compleja que la requerida por los tejidos; esto incluye el corte de las bandas y la adaptación geométrica a la superficie.

En cuanto a la relación geométrica entre la orientación resistente del refuerzo y la transmisión de tensiones, se hace patente en este trabajo que es un aspecto de elemental importancia. El correcto funcionamiento del sistema de refuerzo, depende directamente de un profundo entendimiento de la transmisión de esfuerzos que ocurre en los especímenes a reforzar. Normalmente los laminados CFRP son unidireccionales; por lo que una aplicación incongruente con la mecánica del elemento disminuye o neutraliza su eficacia. Los tejidos CFRP, en este caso también unidireccionales, pueden emplearse en más de una capa y adaptarse a esfuerzos de tensión variables.

El equilibrio mecánico de los esfuerzos transmitidos a las estructuras (en éste caso a los especímenes) optimiza el funcionamiento del refuerzo. Esto es claramente palpable al contrastar los resultados entre grupos de probetas, reforzadas en una cara o dos caras.

El confinamiento de los especímenes con el sistema de refuerzo, optimiza la transferencia de tensiones a través de este, actuando como un sistema integral de anclaje. Sin embargo, solo algunos elementos estructurales de obra de fábrica (pilares, muretes, en casos experimentales paneles, probetas) permiten adaptar un procedimiento de ésta naturaleza.



## **5.4. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE PANELES REFORZADOS CON TEJIDOS Y LAMINADOS CFRP**

### **5.4.1. Introducción**

En este apartado se presenta el análisis de los resultados obtenidos en la campaña de rotura de paneles reforzados con tejidos y laminados CFRP. Los datos de la campaña actual se refieren a la envolvente de rotura obtenida por Sánchez (2001) y enseguida se muestra un gráfico de barras, comparativo de los valores de tensión tangencial registrados.

A continuación se describe el comportamiento y se refieren las curvas de carga-deformación; después se establece una serie de consideraciones finales...

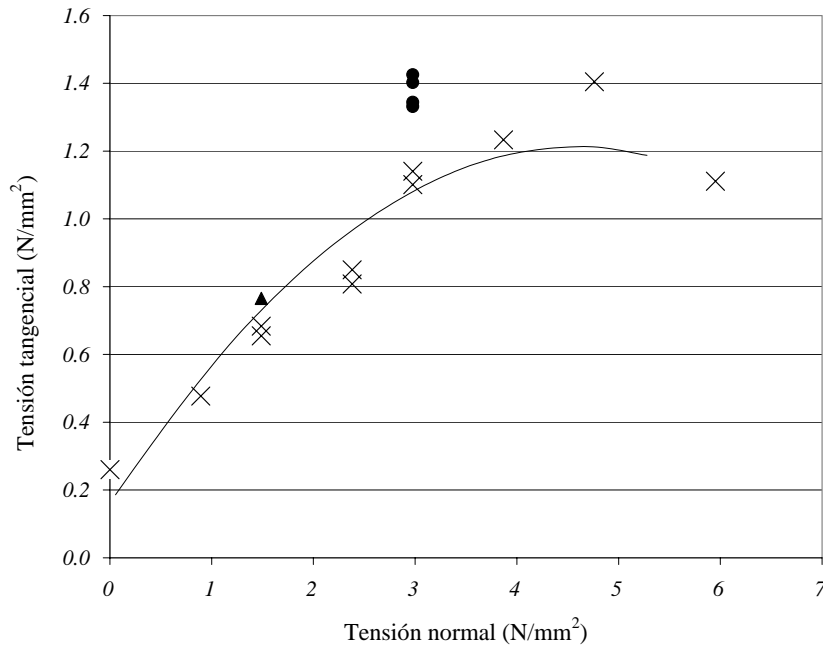
### **5.4.2. Análisis de resultados**

Para analizar la información, los resultados obtenidos en esta campaña se confrontan con los valores característicos de rotura obtenidos por Sánchez (2001) antes citados en el subapartado 4.2. Se presenta una gráfica de puntos de los valores de tensión normal y tangencial de los paneles sin refuerzo y los especímenes reforzados con CFRP.

Posteriormente se presentan gráficos comparativos de las curvas carga-desplazamiento del primer ensayo de esta campaña (sujeto a una carga normal de 250 kN) y los especímenes sometidos a una fuerza normal de 500 kN, con los especímenes análogos de la campaña de confrontación; y en la última sección se sintetizan las pautas generales de comportamiento y resistencia identificadas en la campaña.

Los valores de tensión tangencial de los paneles reforzados, reflejan incrementos frente a los datos característicos de rotura biaxial de los especímenes sin refuerzo equivalentes. La resistencia tangencial del panel 8, sujeto a una carga normal de 250 kN, se sitúa ligeramente por encima del valor del panel sin refuerzo sometido a la misma carga normal (16.9%).

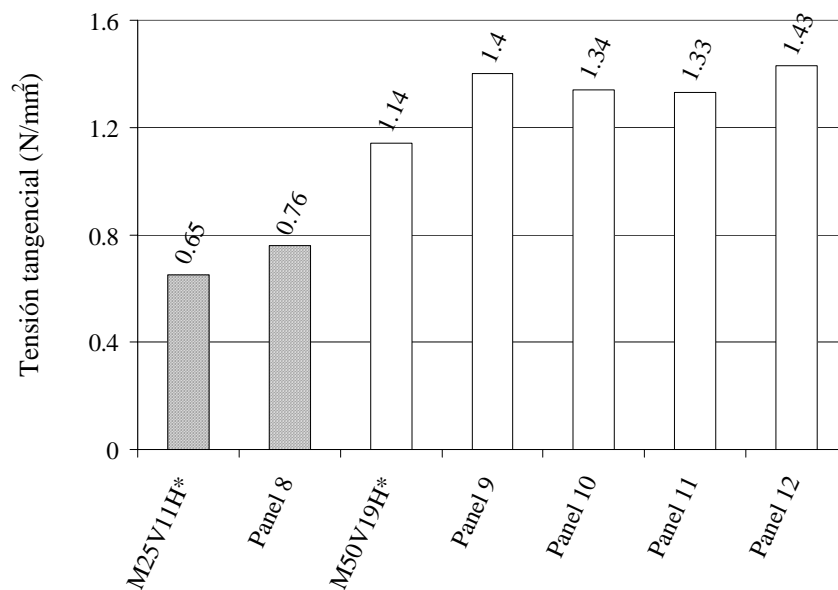
Los valores de tensión tangencial registrados en los paneles 9, 10, 11 y 12, sujetos a una carga normal de 500 kN, superan a los paneles no reforzados con valores que van del 16 a 25%. En la figura 5.24 pueden verse los puntos obtenidos en esta campaña experimental, insertos en la envolvente de rotura de paneles intactos obtenida por Sánchez (2001).



× Sánchez (2001)    ▲ Panel 8 (campana actual)    ● Paneles 9, 10, 11 y 12 (campana actual)

**Figura 5.24** — Situación de los valores de tensión normal y tangencial característicos de los especímenes sin refuerzo, en torno a la envolvente de rotura biaxial de paneles no reforzados, obtenida por Sánchez (2001).

En la figura 5.25 se representan los valores porcentuales de incremento de los paneles reforzados, frente a los paneles intactos sujetos a tensiones normales correspondientes, obtenidos por Sánchez (2001).



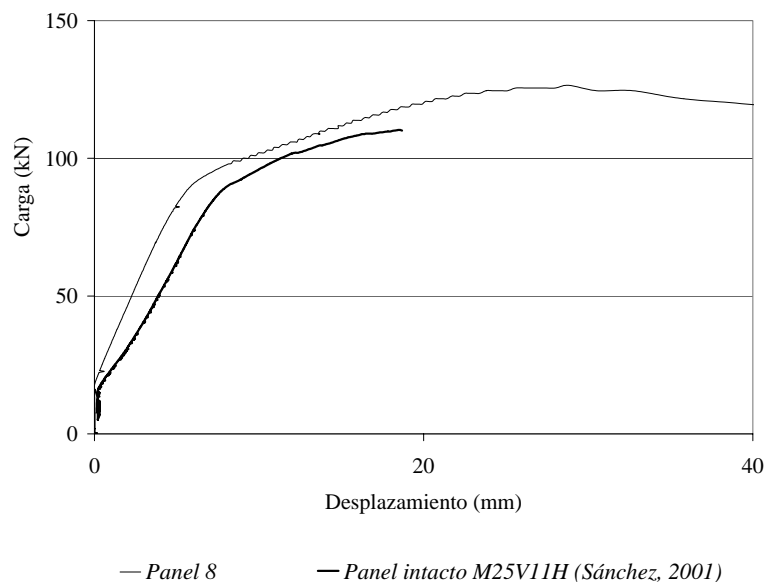
**Figura 5.25** — Incremento porcentual de los valores de tensión tangencial, del panel 8 y de los paneles 9, 10, 11 y 12, referidos a los valores de los ensayos M25V11H y M50V19H realizados por Sánchez (2001).

El panel 8, sujeto a una carga normal de  $250 \text{ N/mm}^2$  observa un incremento de 17% en la carga tangencial última, frente al ensayo de panel intacto M25V11H. Los paneles 9, 10, 11 y 12 presentan incrementos de 23, 18, 17 y 25% respectivamente, frente al panel no reforzado M50V19H.

### 5.4.3. Comportamiento

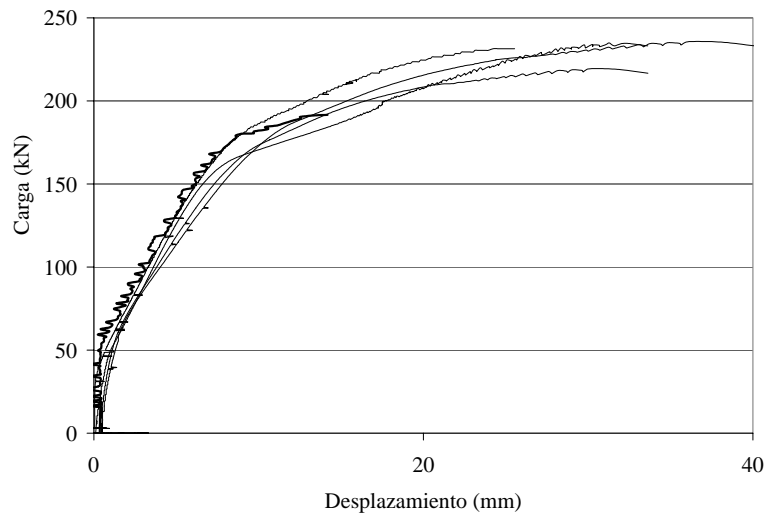
Se presenta una descripción comparativa del comportamiento de los paneles reforzados durante la fase inicial de carga tangencial, del panel 8 y de los paneles 9, 10, 11 y 12 de la campaña actual, frente a los ensayos M25V11H y M50V19H respectivamente, de la campaña de Sánchez (2001).

El panel 8, sujeto a 250 kN de compresión vertical, muestra un comportamiento similar al del panel M25V11H de Sánchez (2001), sometido a una carga normal similar. Sin embargo exhibe un incremento en la resistencia ante la tensión tangencial (figura 5.26).



**Figura 5.26** — Curvas carga-deformación del panel 8 (esta campaña) y panel M25V11H (Sánchez, 2001).

Los paneles 9, 10, 11 y 12 de esta campaña, sujetos a una carga normal igual a 500 kN, presentan un comportamiento semejante entre sí, aún cuando los patrones geométricos y cuantitativos de refuerzo son heterogéneos. Las curvas de comportamiento muestran claramente incremento resistente en el orden de 25% frente al comportamiento de un panel no reforzado (figura 5.27).



— Panel 9 — Panel 10 — Panel 11 — Panel 12 — Panel intacto M50V19H (Sánchez, 2001)

**Figura 5.27** — Curvas carga-deformación de los paneles 9, 10, 11 y 12 (esta campaña) y panel M50V19H (Sánchez, 2001).

Todos los procesos de refuerzo analizados manifiestan incrementos de resistencia y rigidez. En cuanto al aumento en la resistencia, los valores obtenidos reflejan un conjunto de resultados favorables; sin embargo, debido a los altos índices de rigidez alcanzados por las probetas, las características de desplazamientos y los fenómenos de rotura de las probetas reforzadas, se caracterizan solo parcialmente en esta investigación.

La información aportada revela específicamente información cualitativa en torno a los materiales empleados, las características de los paneles y materiales de refuerzo y a las condiciones de ensayo.

### 5.4.3. Consideraciones finales

Es ostensible que los refuerzos de laminado o tejido CFRP aportan incrementos en la capacidad resistente de las paredes de obra de fábrica. La campaña experimental sin embargo, permite identificar otras pautas del comportamiento de paredes reforzadas con laminados o tejidos CFRP. A continuación se refieren los conceptos observados.

En primer término se encuentra el incremento de rigidez en los paneles; esto se manifiesta claramente por la insuficiencia de la carga normal, al contrarrestar la fuerza tangencial transmitida al panel durante la fase de carga tangencial. Aunque los paneles han mostrado indicios de fisura, por dicho motivo los procesos de ensayo han sido interrumpidos deliberadamente antes de la rotura.

En el caso del panel 8 (reforzado con laminado en sentido paralelo a la carga normal), los laminados CFRP manifiestan señales de desprendimiento durante las fase de pre-carga; la

rigidez del laminado impide que éste se adapte a la deformación normal del panel durante su compresión.

Las aplicaciones de tejido, a diferencia de los laminados, apuntan hacia una mayor adaptabilidad mecánica a la fábrica; puesto que no han exhibido situaciones de desprendimiento prematuro, u otras afectaciones relacionadas con la compatibilidad mecánica; salvo el caso de confinamiento del panel 13, que manifiesta un fallo por aplastamiento en la zona de mayor compresión del panel, durante la fase de carga normal.

Así mismo, la elevada rigidez detectada, principalmente en los laminados; abre interrogantes en cuanto a los procedimientos de aplicación adecuados; las aplicaciones de refuerzo realizadas y documentadas en la actual investigación, se ejecutaron sobre paneles libres, antes de la pre-compresión normal. Lo anterior, aplicado a ejemplos reales, asemeja casos de apuntalamiento y descarga, previos a la intervención de paredes en una estructura.

Contrario a ello pueden plantearse situaciones reales en donde es viable intervenir paredes total o parcialmente sujetas a tensiones de trabajo.



## 5.5. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE PROBETAS REFORZADAS CON COMPUESTOS FRP Y OTROS MATERIALES

### 5.5.1. Introducción

En este apartado se describe y analiza el comportamiento de las probetas sin refuerzo o intervenidas con diversas aplicaciones de GFRP, AFRP, madera micro-laminada y baldosas cerámicas.

Primeramente se desarrolla una descripción cualitativa del comportamiento tensión-deformación ( $\sigma$ ,  $\epsilon$ ) de las probetas no reforzadas y de los especímenes reforzados con los cuatro sistemas estudiados.

La información concerniente a cada tipo de tratamiento aplicado, se despliega en subapartados independientes. Posteriormente se proponen modelos de comportamiento para las curvas  $\sigma$ ,  $\epsilon$  y para las envolventes de rotura y residual  $\tau$ ,  $\sigma$ .

Se correlacionan los modelos de comportamiento y los procesos de refuerzo aplicado. Se refiere la influencia de los distintos niveles de tensión normal en la resistencia tangencial de las probetas; y se definen las envolventes de rotura y residual.

En los siguientes subapartados se describe la influencia de los procesos monotónicos y cíclicos en la resistencia de las probetas; en las curvas  $\sigma$ ,  $\epsilon$  y en las envolventes de rotura y residual  $\tau$ ,  $\sigma$ . Se muestra una tabla con los parámetros de deformación tangencial principal y residual ( $\epsilon_u$  y  $\epsilon_r$ ) y el modulo de deformación transversal (G).

Se presenta otra tabla con los parámetros obtenidos en las envolventes de los valores medios, arrojados por los conjuntos de probetas similares de cada aplicación de refuerzo y de las probetas no reforzadas; identificando los valores de cohesión (C); ángulo de rozamiento ( $\text{tg } \phi$ ) y de la tensión normal última registrada en las tendencias iniciales de algunos casos con variación en la trayectoria de deformación.

Se realiza un análisis comparativo de las variaciones, en términos cualitativos y en unidades porcentuales de los parámetros registrados en los sistemas de refuerzo estudiados. Se incluyen los resultados obtenidos en la campaña de rotura uniaxial de probetas reforzadas con CFRP (descrita en el subapartado 3.3.).

En el último subapartado se expone un comparativo de la eficacia de los tratamientos de refuerzo.

### 5.5.2. Comportamiento de las probetas no reforzadas

Las probetas sin refuerzo, en los ensayos monotónicos muestran una deformación lineal durante la fase de carga tangencial; con un fallo de tipo frágil, similar bajo los valores progresivos 0.51, 1.02, 1.43 y 2.04 N/mm<sup>2</sup> de tensión normal; en donde la relación entre la resistencia residual y la resistencia última es progresivamente creciente. La media de tensión tangencial última, registrada en los ensayos sujetos al segundo valor de tensión normal aplicado (1.02 N/mm<sup>2</sup>) se incrementa en 70 % frente al primero; y bajo los valores subsecuentes de tensión normal (1.43 y 2.04 N/mm<sup>2</sup>) aumenta en 33 % y disminuye en 11 %, respectivamente.

Por tanto, en las probetas no reforzadas sujetas a procesos de carga monotónicos, a mayor tensión normal la relación de la resistencia residual sobre la resistencia última ( $\tau_r / \tau_u$ ) también aumenta; con valores de 0.51, 0.55, 0.61 y 0.88.

La resistencia residual muestra un comportamiento lineal; con incrementos en la resistencia tangencial de 86, 49 y 28 % bajo las tensiones normales 1.02, 1.43 y 2.04 N/mm<sup>2</sup>, frente a la tensión tangencial registrada bajo la tensión normal inicial (0.51 N/mm<sup>2</sup>).

Lo anterior puede observarse claramente en la figura 5.28; en donde la envolvente de las tensiones últimas muestra una tendencia inicialmente lineal, con una variación a partir del tercer valor de tensión normal; y la envolvente residual es lineal.

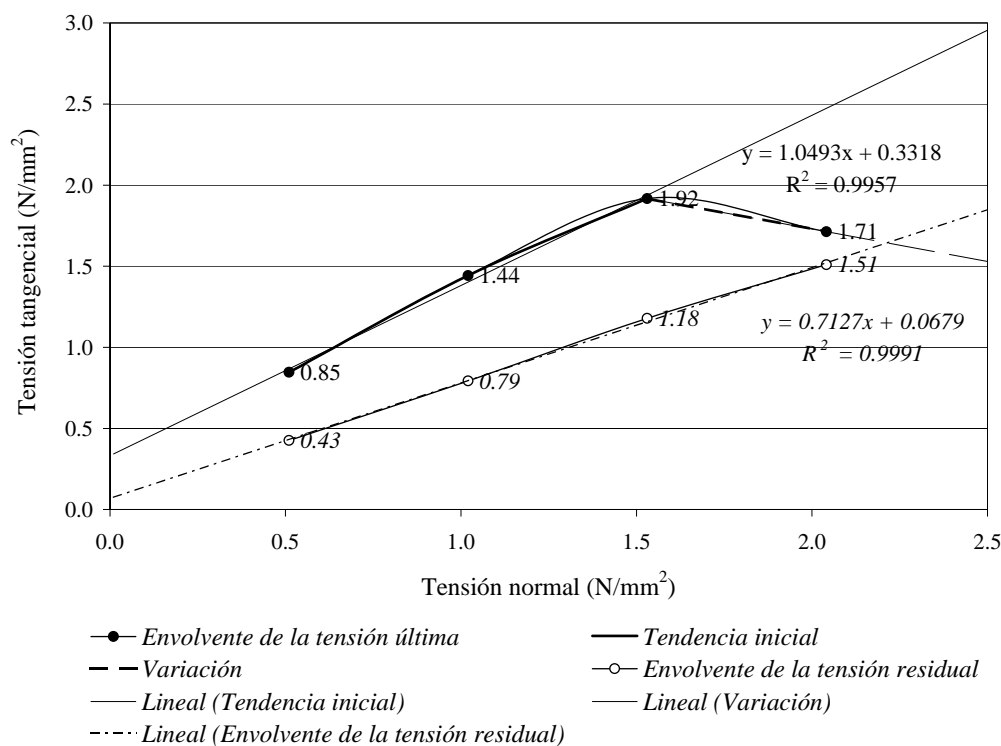


Figura 5.28 — Envoltentes de rotura y residual, de probetas sin refuerzo sujetas a proceso monotónico durante la fase carga tangencial.

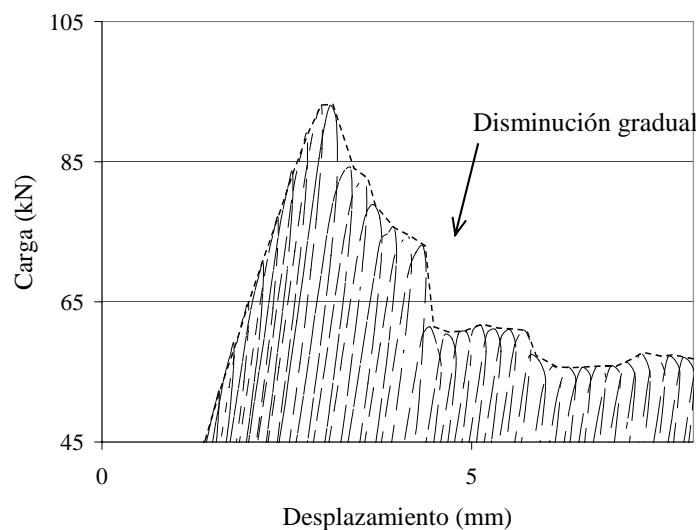


Las probetas no reforzadas ensayadas en proceso monotónico, manifiestan en las envolventes de resistencia última y residual, valores de cohesión de 0.33 y 0; y valores del ángulo de rozamiento de  $\phi$  1.05 y 0.71 respectivamente.

Ante los procesos cíclicos de ensayo, las probetas no reforzadas manifiestan algunas diferencias en el comportamiento. A diferencia de las probetas ensayadas bajo un proceso de carga monotónico, la rotura ocurre de forma gradual; las curvas  $\sigma$ ,  $\epsilon$  muestran una disminución progresiva en la resistencia. Esto se debe a la acción reiterativa del actuador de carga tangencial, de forma que la disminución de la resistencia desde el valor último registrado hasta la resistencia residual, ocurre en un desplazamiento tangencial acumulado de 2 mm aproximadamente.

En la figura 5.24 se muestra un detalle de la fase de rotura en la curva  $\sigma$ ,  $\epsilon$  de una probeta sin refuerzo sometida al proceso de carga cíclico.

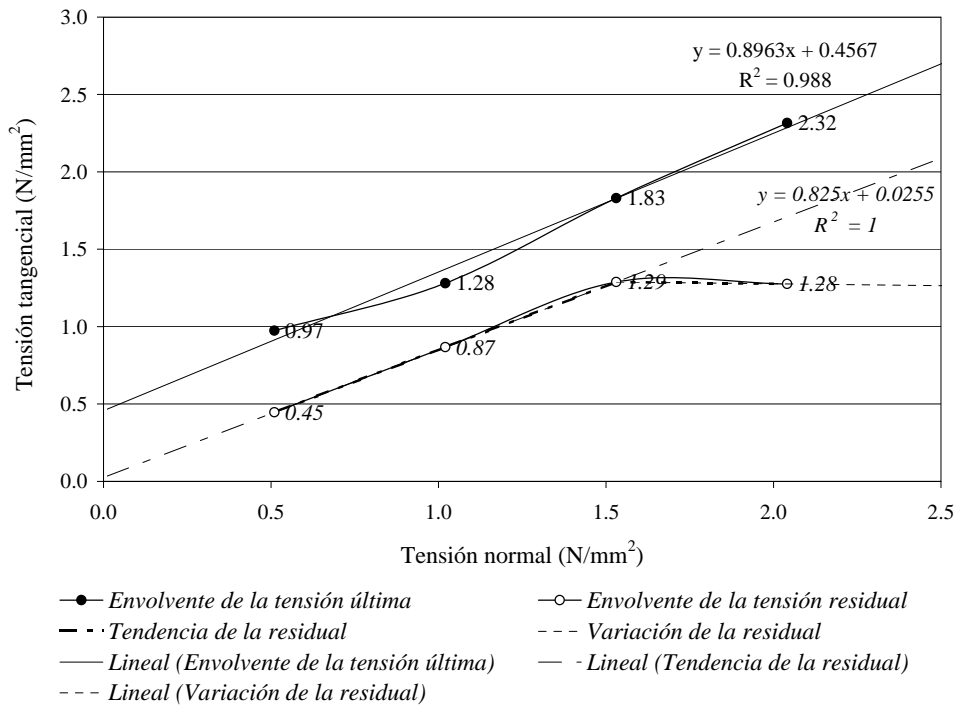
La envolvente de la resistencia última es lineal; presenta incrementos de 14 y 36 % en los ensayos sujetos a los valores de tensión normal 0.51 y 2.04 N/mm<sup>2</sup>; y decrementos del 11 y 5 % en los valores intermedios 1.02 y 1.53 N/mm<sup>2</sup>, frente a los valores resistentes arrojados por las probetas sujetas al proceso de carga monotónico (figura 5.29).



**Figura 5. 29 — Detalle de la fase de rotura en la curva  $\sigma$ ,  $\epsilon$  de una probeta sin refuerzo sujeta a 2.04 N/mm<sup>2</sup> de tensión normal durante el proceso cíclico de carga tangencial.**

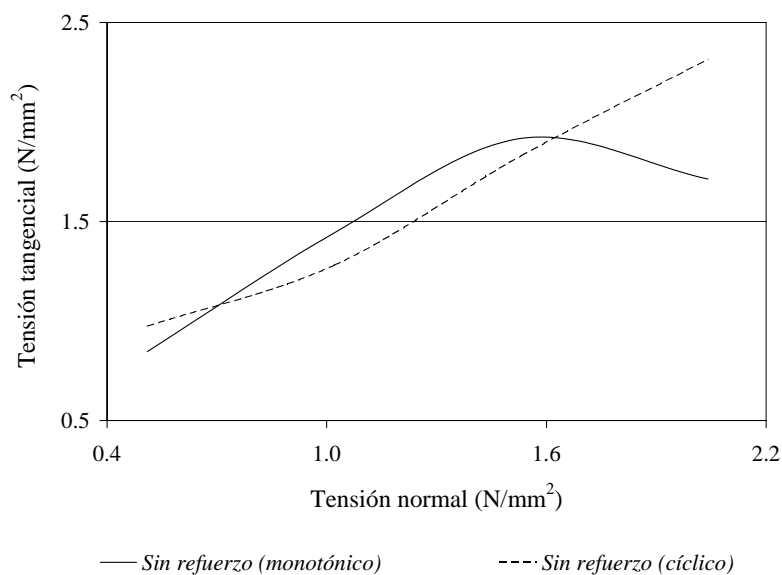
Los valores medios de la resistencia residual evolucionan de forma distinta en los ensayos cíclicos. Se observan incrementos de 93 y 48 % en la tensión tangencial a partir del segundo incremento de la tensión normal aplicada, pero en el cuarto valor de tensión normal (2.04 N/mm<sup>2</sup>) el valor tangencial es similar al anterior.

Las probetas no reforzadas sometidas a ensayos cíclicos, en las envolventes de resistencia última y residual, presentan valores de cohesión de 0.46 y 0; y valores del ángulo de rozamiento ( $\text{tg } \phi$ ) de 0.89 y 0.82, respectivamente (figura 5.30).



**Figura 5.30 — Envoltentes de rotura y residual, de probetas sin refuerzo sujetas a proceso cíclico durante la fase de carga tangencial.**

En los ensayos monotónicos y cíclicos, influye de forma diferente el aumento de la tensión normal en la resistencia de las probetas no reforzadas. En los primeros, la evolución de la resistencia tangencial presenta una fase de incremento lineal, hasta un valor determinado de tensión normal, seguida por una drástica disminución. En los ensayos cíclicos, la resistencia tangencial evoluciona de forma lineal, con incrementos porcentuales decrecientes ante los valores gradualmente ascendentes de tensión normal (figura 5.31).



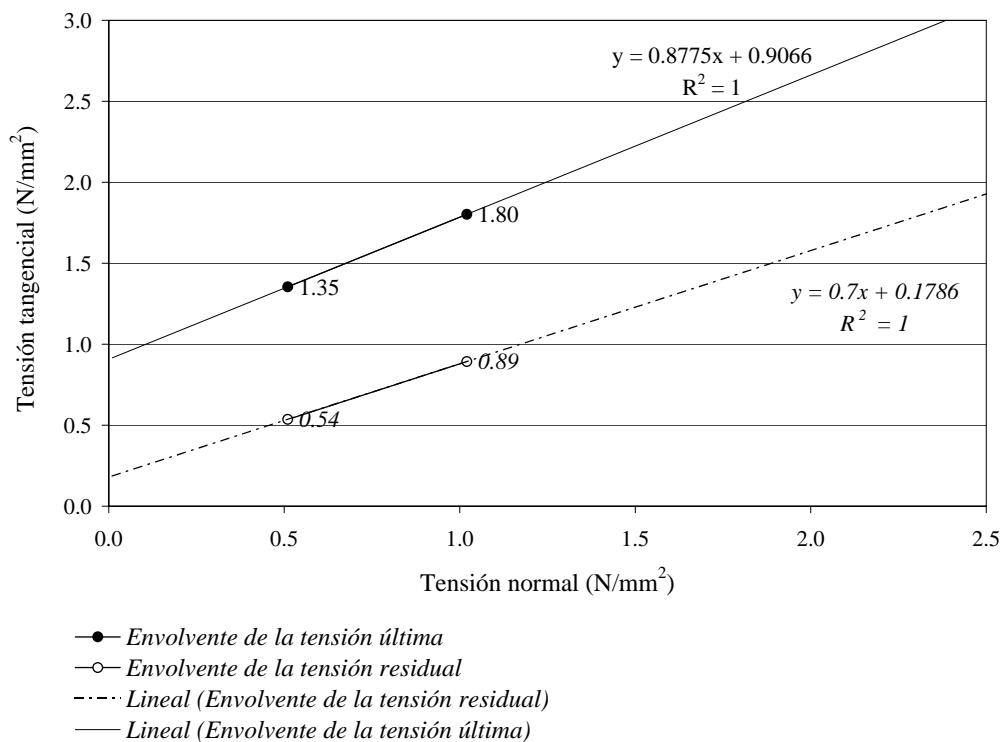
**Figura 5.31 — Envoltentes de la resistencia última tangencial de las probetas sin refuerzo, bajo procesos de carga monotónico y cíclico.**

### 5.5.3. Comportamiento de las probetas reforzadas con GFRP

Las probetas reforzadas con tejido GFRP muestran invariablemente incremento en la resistencia. Las probetas sujetas a proceso monotónico durante la fase de carga tangencial, presentan una curva de deformación ligeramente sinuosa en la fase previa a la rotura. Se obtienen incrementos medios en la resistencia que van desde el 25 hasta el 162 % frente a los valores de las probetas no reforzadas; y el tipo de fallo es dúctil; con una deformación progresiva.

En los ensayos bajo procesos cíclicos, en que se han aplicado dos o más valores de tensión normal y, conforme a las variables de aplicación del refuerzo, se obtienen incrementos medios que van del 25 al 122 % sobre la resistencia de las probetas no reforzadas. En dichos valores porcentuales influye la orientación de las fibras resistentes y la aplicación de refuerzo en una o dos caras de las probetas.

Se utilizaron orientaciones perpendiculares o giradas 45° respecto a las juntas de mortero, tanto en el caso de los ensayos monotónicos como en los cíclicos. En la figura 5.27 se muestran las envolventes última y residual de probetas reforzadas en una cara, con orientación del tejido perpendicular a las juntas de mortero. Bajo los valores de tensión normal 0.51 y 1.02 N/mm<sup>2</sup>, que presentan incrementos porcentuales de 60 y 25 % respectivamente, frente a los valores resistentes de las probetas no reforzadas; y un aumento de 33 % de la resistencia tangencial tras el primer incremento del 100 % de la tensión normal, entre los especímenes similares (figura 5.32).



**Figura 5.32 — Envolventes de rotura y residual, de probetas reforzadas en una cara, con tejido GFRP perpendicular a las juntas de mortero, sujetas a proceso monotónico durante la fase de carga tangencial.**

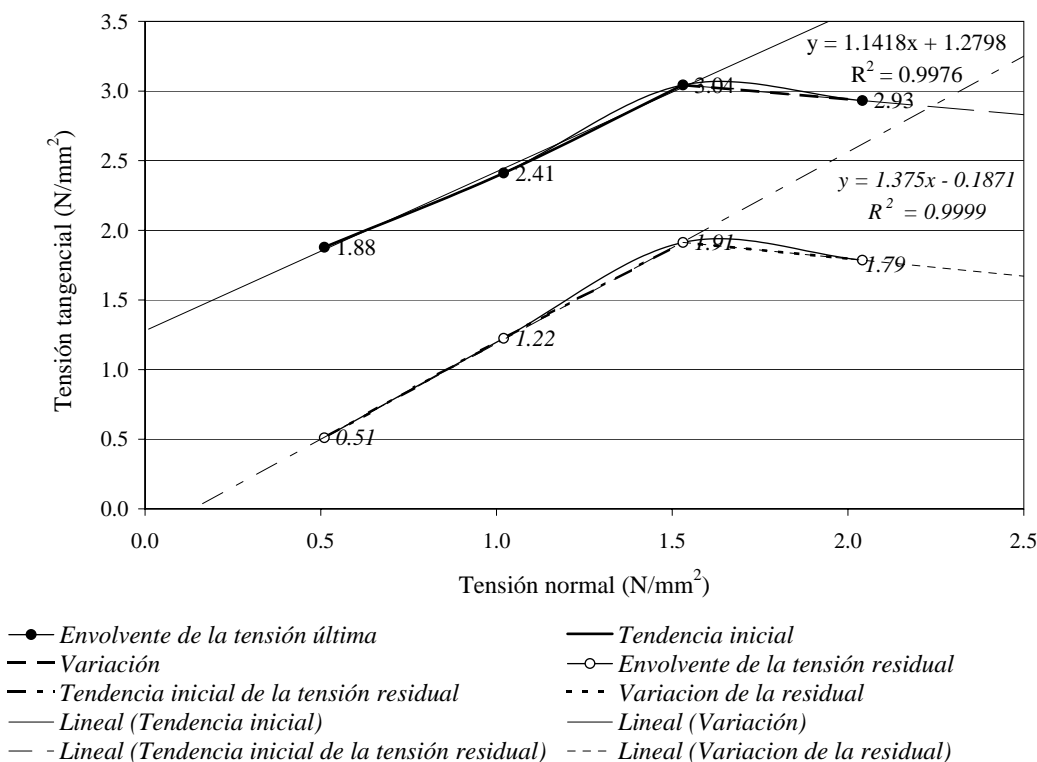
Los valores del ángulo de rozamiento registrados en las envolventes de rotura y tangencial, son 0.87 y 0.7, respectivamente. Y los valores de cohesión son de 0.9 para el primer caso y se asume como 0 para el segundo.

La influencia de la tensión normal en la resistencia de las probetas, difiere entre los procesos monotónicos o cíclicos durante la fase de carga tangencial.

Las probetas reforzadas en dos caras con tejido GFRP, aplicado perpendicularmente a las juntas de mortero y, ensayadas bajo proceso monotónico, presentan incrementos de 122, 67, 59 y 71 % de la resistencia tangencial última, frente a los valores arrojados por las probetas sin refuerzo, sujetas a los valores progresivos de tensión normal 0.51, 1.02, 1.43 y 2.04 N/mm<sup>2</sup>.

Sin embargo, en la envolvente de rotura de las probetas puede verse que, la influencia de la tensión normal en la resistencia tangencial es lineal hasta un valor de 1.53 N/mm<sup>2</sup>; presentando una variación significativa en el cuarto valor de tensión normal aplicado. A partir de 0.51 N/mm<sup>2</sup> en la tensión normal, el aumento gradual de la tensión normal induce incrementos de 28 y 26 %; y una disminución de 4 %.

Sucede lo mismo en los valores de resistencia tangencial residual; con incrementos de la tensión de 139 y 56 %; y una disminución de 6 % (figura 5.33).



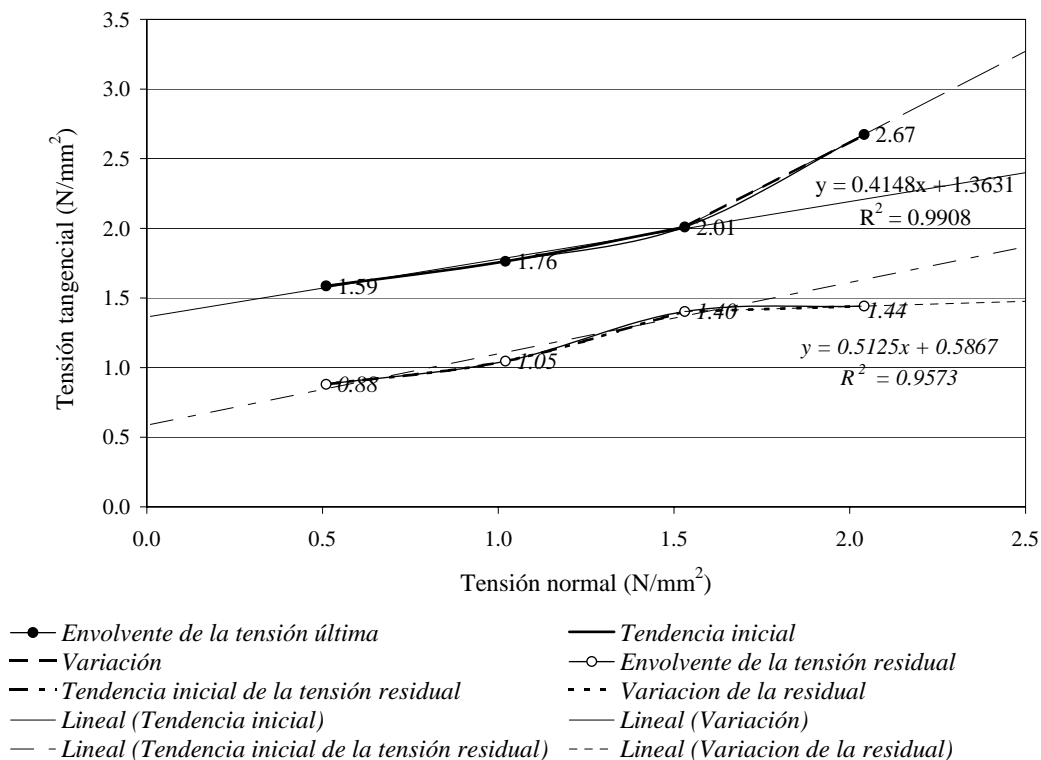
**Figura 5.33 — Envolventes de rotura y residual, de probetas reforzadas en dos caras, con tejido GFRP perpendicular a las juntas de mortero, sujetas a proceso monotónico durante la fase de carga tangencial.**

Los valores de cohesión manifestados por las probetas reforzadas en dos caras y con orientación del tejido perpendicular a las juntas de mortero, son de 1.27 en la envolvente de la resistencia última; y de 0 en la envolvente residual. Los valores del ángulo de rozamiento son de 1.14 y 1.37 respectivamente.

Las probetas ensayadas bajo el proceso cíclico, reforzadas con GFRP aplicado en una cara y con una orientación del tejido resistente de 45° respecto a las juntas de mortero, presentan incrementos medios en la resistencia última de 63, 38, 10 y 15 %, frente a los valores registrados en las probetas no reforzadas bajo tensiones normales de 0.51, 1.02, 1.53 y 2.04 N/mm<sup>2</sup>; y de 95, 20, 9 y 13 % en la resistencia residual. Las probetas presentan una rotura dúctil, con una disminución gradual de la resistencia.

Las envolventes de los valores resistentes últimos y residuales muestran una tendencia inicial lineal; y una variación ante el valor más alto de tensión normal.

A partir del primer incremento progresivo de 0.51 N/mm<sup>2</sup> en la tensión normal, se registran aumentos de 11 y 14 % de la tensión tangencial, en orden lineal; seguidos por un valor que supera la tendencia inicial, igual a 33 % sobre el anterior. La envolvente residual presenta una tendencia similar con incrementos de 19 y 34 %; seguidos por otro incremento fuera de la tendencia, de 3 % (figura 5.34).



**Figura 5.34 — Envolvertes de rotura y residual, de probetas reforzadas en una cara, con tejido GFRP con orientación de 45° respecto a juntas de mortero, sujetas a proceso cíclico durante la fase de carga tangencial.**

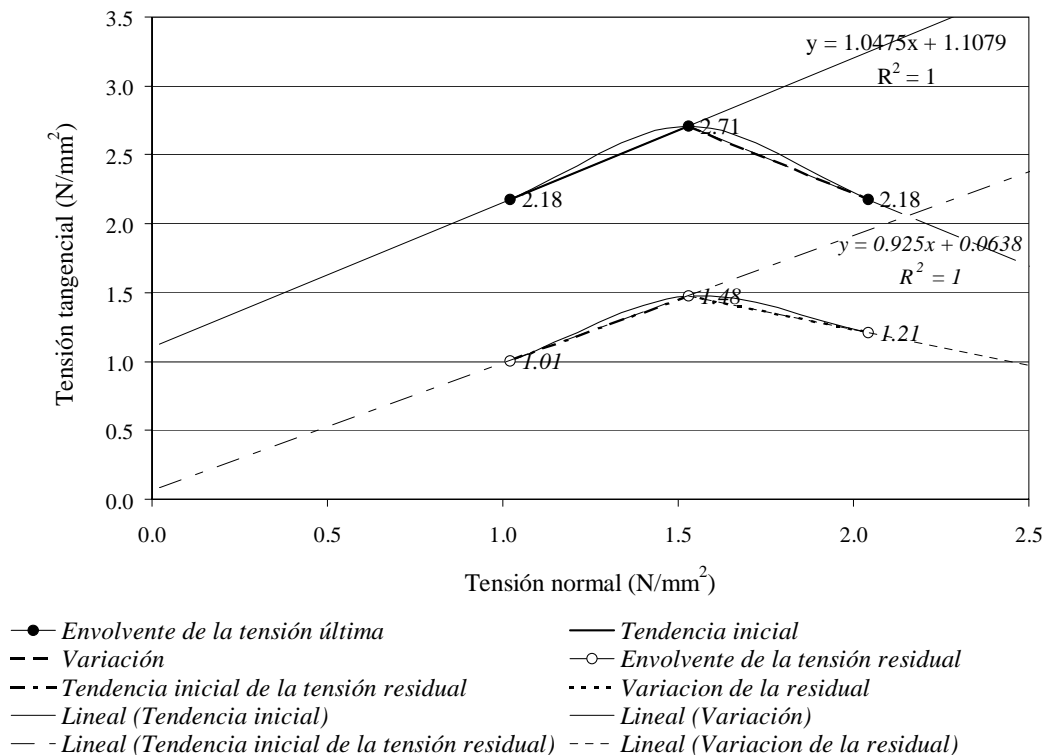
En las envolventes de rotura última y residual, los valores de cohesión y del ángulo de rozamiento son  $C = 1.36$  y  $0.59$ ; y  $\text{tg } \phi = 0.41$  y  $0.51$  respectivamente.

Las probetas reforzadas con GFRP, aplicado perpendicularmente a las juntas de mortero y en dos caras, muestran incrementos medios de la resistencia tangencial de 123 y 111 % y, bajo el valor de tensión normal  $2.04 \text{ N/mm}^2$ , una disminución del 6%, frente a los valores arrojados por las probetas no reforzadas. Los valores de tensión residual presentan incrementos de 126 y 70 % y una disminución de 5 % ante la tensión normal  $2.04 \text{ N/mm}^2$ .

Durante la fase de carga tangencial, las probetas manifiestan un comportamiento lineal hasta la rotura. La rotura es de tipo dúctil, con una disminución gradual a cada período de carga hasta situarse en un valor estable de resistencia residual.

Las envolventes de tensión última y residual muestran linealidad bajo las tensiones normales  $1.02$  y  $1.53 \text{ N/mm}^2$ ; sin embargo, tras un nuevo incremento de  $0.51 \text{ N/mm}^2$  se manifiesta una drástica disminución en la tensión tangencial.

La evolución de los valores de tensión tangencial presenta un incremento de 46 % después del primer incremento de la carga normal; y después una disminución de 18 % (figura 5.35). Los valores de  $C$  y  $\text{tg } \phi$  son  $1$  y  $0.92$ ; y  $1.10$  y  $0$ , respectivamente.



**Figura 5. 35 — Envolventes de rotura y residual, de probetas reforzadas en dos caras, con tejido GFRP perpendicular a las juntas de mortero, sujetas a proceso cíclico durante la fase de carga tangencial.**

Frente a las probetas sin refuerzo ensayadas bajo procesos monotónico o cíclico, al cotejar las envolventes correspondientes de resistencia última de las probetas reforzadas con GFRP (figura 5.36) se establecen las siguientes pautas:

Entre los ensayos monotónicos, las aplicaciones de tejido en una cara, perpendiculares a las juntas de mortero, muestran un incremento medio de 38 % en la resistencia tangencial, con un ángulo de rozamiento inferior; y una cohesión superior. Los valores de rigidez son similares.

Las probetas reforzadas con una orientación del tejido perpendicular y aplicación en dos caras, reflejan un incremento medio de la resistencia tangencial de 73 %; con valores de cohesión y del ángulo de rozamiento superiores. La media de los valores de rigidez es 6 % superior.

Entre los ensayos cíclicos, las aplicaciones de tejido en una cara y formando un ángulo de 45° respecto a las juntas de mortero, presentan un incremento global de la resistencia tangencial de 25 %, un valor de cohesión también superior y un ángulo de rozamiento inferior. Así mismo presentan valores de rigidez mayores.

Las probetas reforzadas con una orientación del tejido perpendicular a las juntas de mortero y en dos caras, muestran un incremento resistente medio 47 % superior, y valores de cohesión, ángulo de rozamiento y rigidez también superiores.

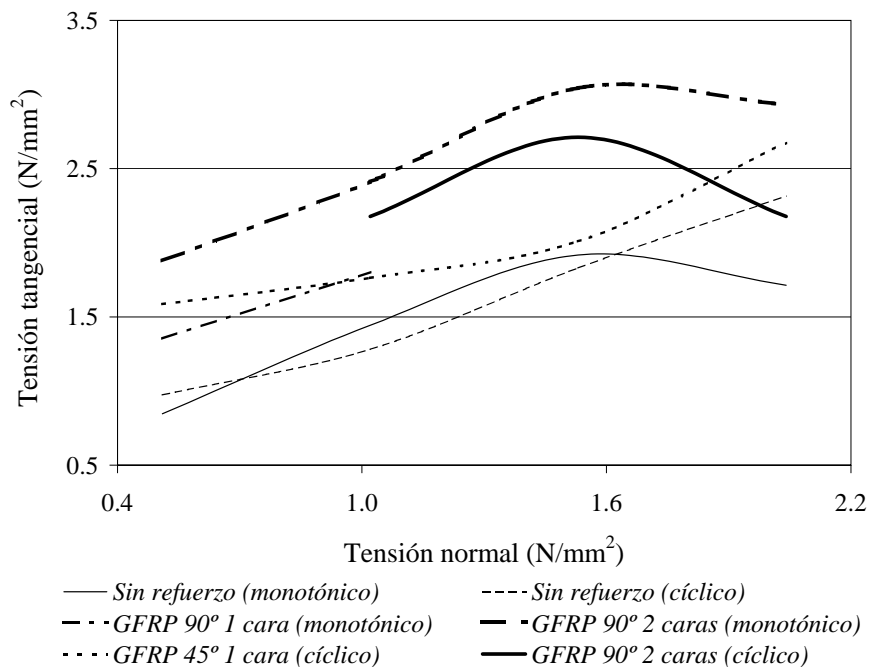


Figura 5.36 — Envolventes de la resistencia última tangencial de las probetas sin refuerzo y de las probetas reforzadas con GFRP bajo procesos de carga monotónico y cíclico.

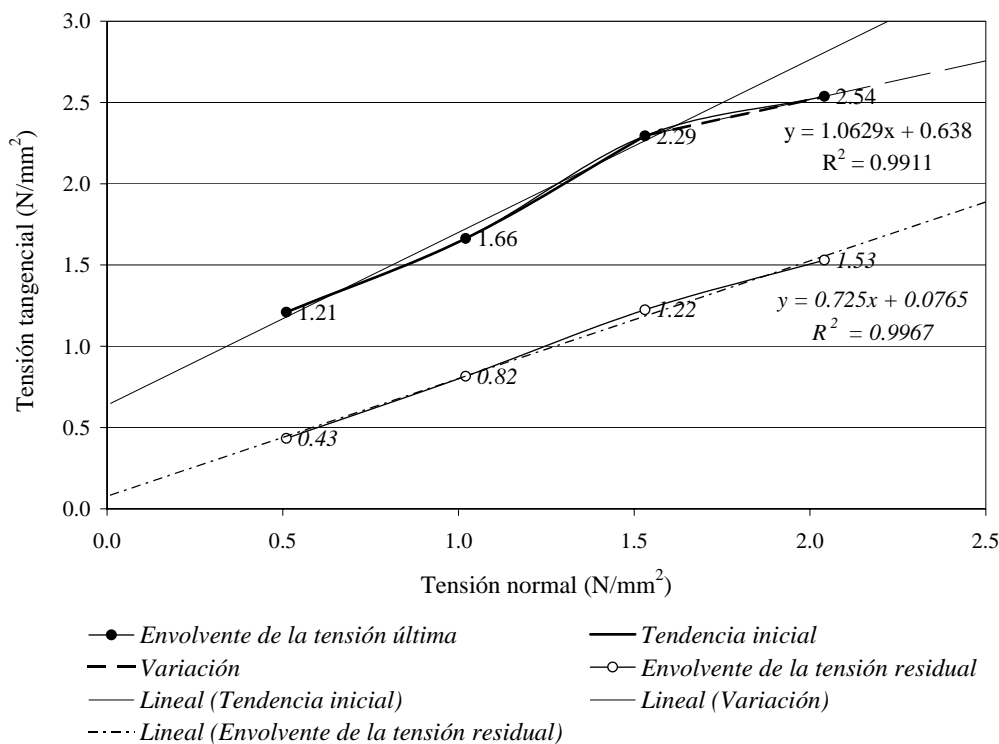
#### 5.5.4. Comportamiento de las probetas reforzadas con AFRP

Las probetas reforzadas con tejido AFRP presentan notables incrementos en la resistencia, hasta 48 % en los procesos de ensayo monotónico y 161 % en los ensayos cíclicos, frente a las probetas sin refuerzo.

El comportamiento de las probetas sujetas al proceso de ensayo monotónico, reforzadas con aplicaciones de tejido AFRP en sentido perpendicular a las juntas y en una cara, presenta en general una deformación lineal hasta la rotura, con un fallo de tipo dúctil; permitiendo un desplazamiento de varios milímetros durante la disminución de la resistencia tangencial hasta los valores medios residuales.

Frente a las probetas no reforzadas, ensayadas con procesos monotónicos, las probetas reforzadas con AFRP reflejan incrementos de 43, 15, 20 y 48 %, bajo las tensiones normales 0.51, 1.02, 1.53 y 2.04 N/mm<sup>2</sup>, respectivamente.

En la envolvente de rotura, a partir de la tensión normal de 0.51 N/mm<sup>2</sup>, los valores progresivos muestran incrementos en la resistencia tangencial de 37 y 38 %, con una tendencia lineal. Sin embargo, bajo la tensión normal de 2.04 N/mm<sup>2</sup> se produce un incremento del 10 % en la tensión última tangencial (figura 5.37).



**Figura 5. 37 — Envoltentes de rotura y residual, de probetas reforzadas en una cara, con tejido AFRP perpendicular a las juntas de mortero, sujetas a proceso monotónico durante la fase de carga tangencial.**

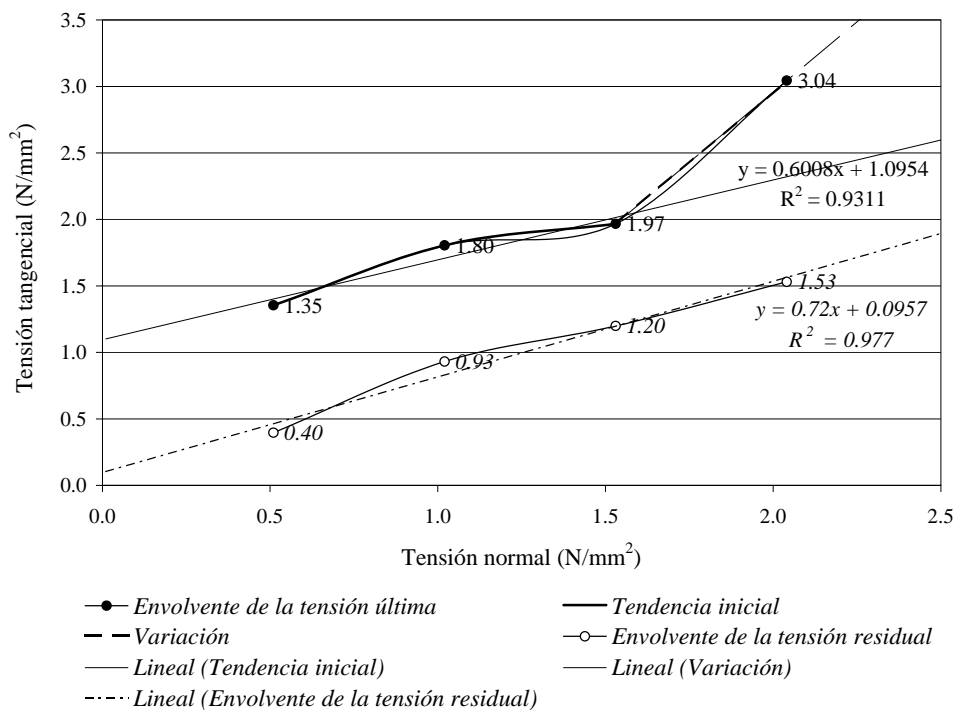


La envolvente de los valores residuales de tensión tangencial es lineal frente a los cuatro valores de tensión normal. Sobre el valor medio de tensión residual registrado en los ensayos sujetos a  $0.51 \text{ N/mm}^2$ , se producen incrementos en la tensión tangencial de 90, 49 y 25 %, bajo los valores progresivos de tensión normal. Los valores de  $C$  y  $\text{tg } \phi$  son 0.64 y 0 en las envolventes última y residual, y 1.06 y 0.72, respectivamente.

Las probetas reforzadas con tejido AFRP aplicado en una cara en sentido perpendicular a las juntas de mortero y, sometidas a ensayo cíclico; reflejan un incremento global en la resistencia tangencial última de 28 %, frente a las probetas no reforzadas.

En su comportamiento, la probetas presentan una deformación lineal hasta la rotura, que es de tipo dúctil, con una disminución gradual de la resistencia tangencial hasta situarse en la resistencia residual. Se manifiestan incrementos en la tensión tangencial de 39, 41, 7 y 31 % frente a los valores arrojados por las probetas no reforzadas, sujetas a las tensiones normales 0.51, 1.02, 1.53 y  $2.04 \text{ N/mm}^2$ , respectivamente.

La influencia de la tensión normal en la resistencia tangencial de las probetas manifiesta una trayectoria lineal ascendente inicialmente; con un incremento más pronunciado en los ensayos sometidos al valor más alto de tensión normal. A partir de la resistencia última tangencial generada bajo una tensión normal de  $0.51 \text{ N/mm}^2$ , los incrementos graduales de tensión normal generan en las probetas aumentos de 33, 9 y 54 % en la tensión tangencial (figura 5.38). Las envolventes última y residual arrojan valores de cohesión de 1.09 y 0; y valores de  $\text{tg } \phi$  de 0.6 y 0.72.



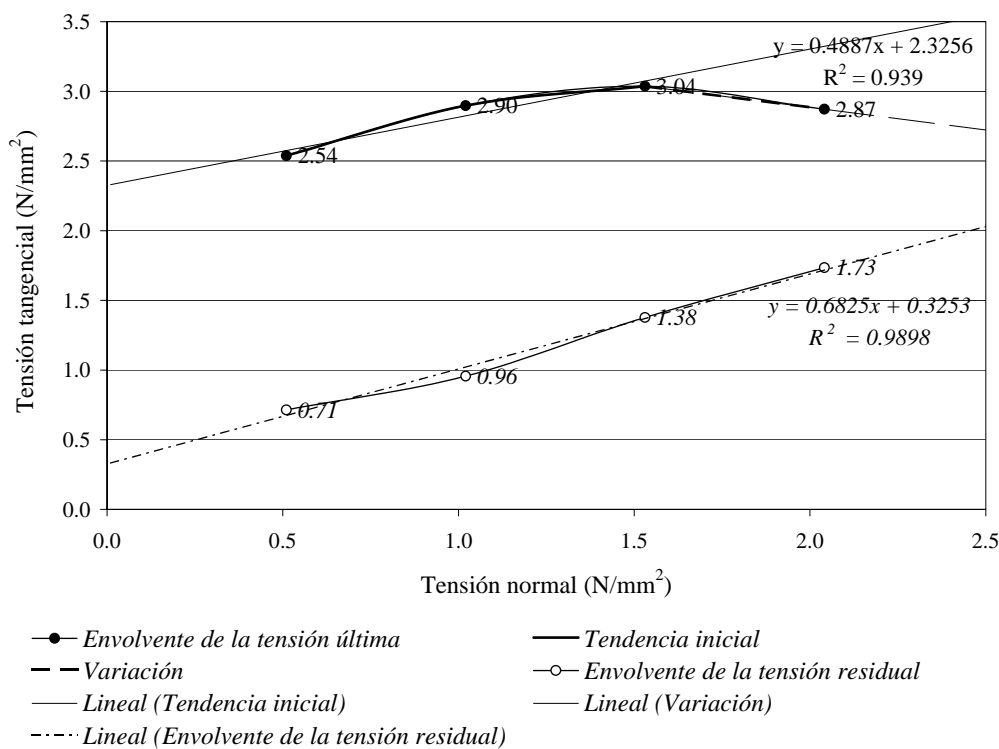
**Figura 5.38** — Envolventes de rotura y residual, de probetas reforzadas en una cara, con tejido AFRP perpendicular a las juntas de mortero, sujetas a proceso cíclico durante la fase de carga tangencial.

Las probetas reforzadas con tejido AFRP aplicado en sentido perpendicular a las juntas y en dos caras, sujetas a ensayos cíclicos, manifiestan globalmente un incremento resistente 77 % superior al registrado en las probetas no reforzadas. Bajo los valores de tensión normal 0.51, 1.02, 1.53 y 2.04 N/mm<sup>2</sup>, muestran incrementos de 161, 126, 67 y 24 %, respectivamente.

Las probetas presentan una rotura de tipo dúctil, con una deformación inicial lineal y una disminución gradual de la resistencia.

Las envolvente de rotura manifiesta una evolución inicial lineal, con incrementos en la resistencia tangencial de 14 y 5 % a partir del valor registrado bajo 0.51 N/mm<sup>2</sup> de tensión normal; y una disminución de 6% ante el siguiente incremento gradual de tensión normal. La envolvente de valores residuales es lineal, con incrementos de 35, 44 y 25 % a partir del valor de tensión tangencial registrado bajo 0.51 N/mm<sup>2</sup> de tensión normal (figura 5.39).

Los valores de cohesión de las envolvente de tensión últimas y residual son 2.32 y 0.32; y los valores de  $\text{tg } \phi$  son 0.49 y 0.68, respectivamente.



**Figura 5.39 — Envolventes de rotura y residual, de probetas reforzadas en dos caras, con tejido AFRP perpendicular a las juntas de mortero, sujetas a proceso cíclico durante la fase de carga tangencial.**

Frente a las probetas sin refuerzo ensayadas bajo procesos monotónico o cíclico, las envolventes correspondientes a la resistencia última de las probetas reforzadas con AFRP (figura 5.40) establecen las siguientes pautas:

Las probetas reforzadas en una cara, con una orientación del tejido perpendicular a las juntas y, sujetas a ensayos monotónicos, muestran un incremento resistente medio de 30 %.

El valor de cohesión se incrementa 44 % y el ángulo de rozamiento es similar. El modulo de rigidez se incrementa en 20 %.

Las probetas reforzadas de forma similar sujetas a cargas cíclicas, presentan una resistencia tangencial 27 % superior; con un valor de cohesión superior y un valor del ángulo de rozamiento 32 % inferior. El valor medio de rigidez se sitúa en 36 % por encima de la media registrada en las probetas no reforzadas.

Las aplicaciones de tejido AFRP en dos caras reflejan un incremento resistente medio de 78 %; un valor de cohesión muy superior y un ángulo de rozamiento inferior.

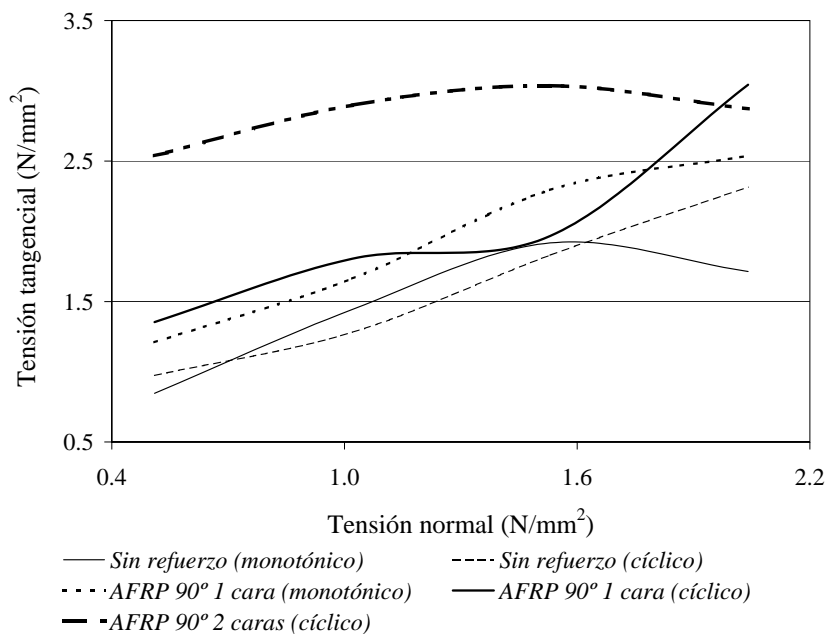


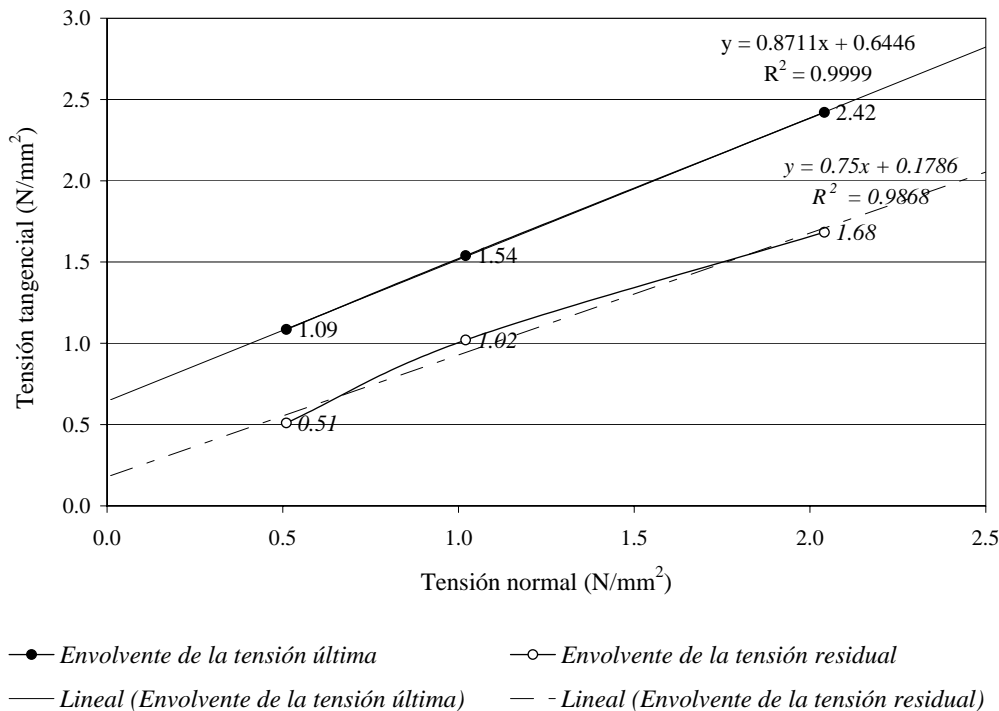
Figura 5.40 — Envolventes de la resistencia última tangencial de las probetas sin refuerzo y de las probetas reforzadas con AFRP bajo procesos de carga monotónico y cíclico.

### 5.5.5. Comportamiento de las probetas reforzadas con madera micro-laminada

Las probetas reforzadas con placas de madera micro-laminada, aplicadas en una cara y con una orientación de las fibras resistentes formando un ángulo de 45° respecto a las juntas de mortero, exhiben una resistencia global 14 % por encima de las probetas no reforzadas.

Las curvas  $\sigma$ ,  $\epsilon$  presentan una deformación lineal hasta la rotura y un comportamiento dúctil en la fase posterior al fallo. Los especímenes sujetos a compresiones normales de 0.51, 1.02 y 2.04 N/mm<sup>2</sup>, muestran valores de tensión tangencial última 28, 7 y 41 % superiores a los registrados en los ensayos de probetas sin refuerzo.

En la envolvente de rotura, los valores 1.02 y 2.04 N/mm<sup>2</sup> de tensión normal, producen incrementos de 41 y 122 % de la resistencia tangencial registrada bajo 0.53 N/mm<sup>2</sup>, estableciendo una correspondencia lineal. La envolvente de tensión tangencial refleja un comportamiento similar; con incrementos de 100 y 65 % (figura 5.41).



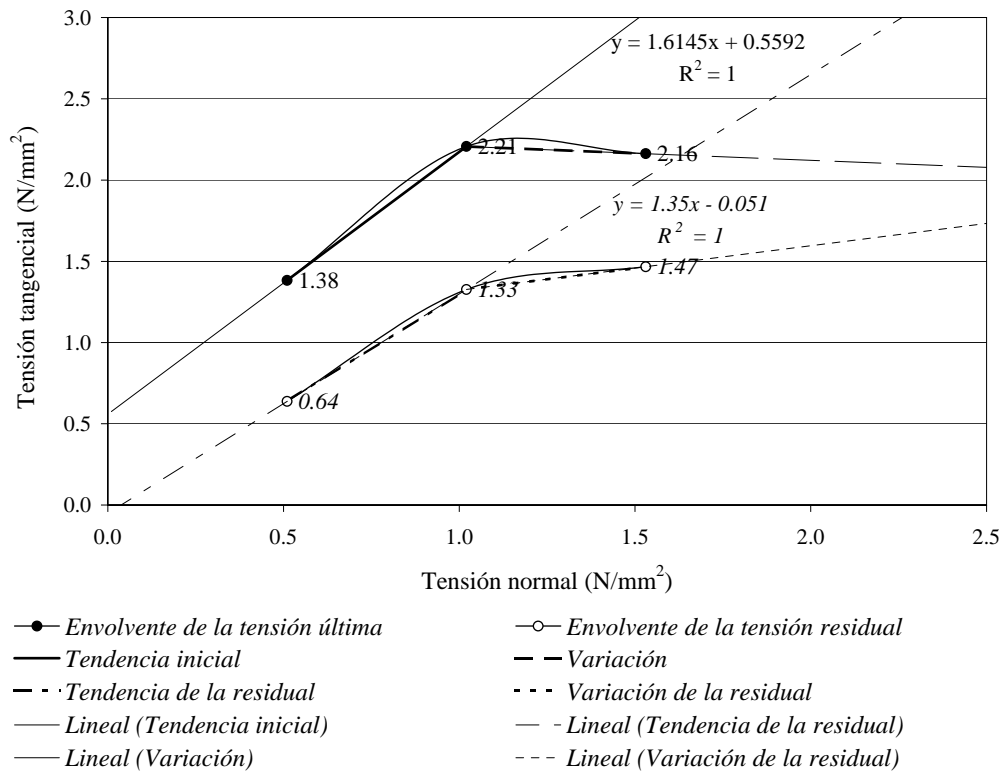
**Figura 5. 41 — Envolvertes de rotura y residual, de probetas reforzadas en una cara, con madera micro-laminada, sujetas a proceso monotónico durante la fase de carga tangencial.**

Las probetas reforzadas de forma similar, sujetas a ensayos cíclicos, reflejan algunas variaciones. El incremento global resistente frente a las probetas sin refuerzo es de 20%.

Sometidas a los valores de tensión normal 0.51, 1.02 y 1.53 N/mm<sup>2</sup>, alcanzan valores de tensión tangencial última 42, 72 y 18 % por encima de los valores aportados por las probetas sin refuerzo.

Las curvas de comportamiento  $\sigma$ ,  $\epsilon$  muestran una deformación lineal hasta la rotura; con un fallo de tipo dúctil con un descenso gradual de la resistencia tangencial.

La envolvente de rotura presenta una fase inicial lineal; con una drástica disminución en la resistencia tangencial, en las probetas sujetas a 1.53 N/mm<sup>2</sup> de tensión normal. A partir de 0.51 N/mm<sup>2</sup>, el aumento gradual de la tensión normal incrementa la resistencia tangencial en 60%; y posteriormente la reduce en 2 %. La envolvente residual muestra una evolución similar; con un primer incremento de 42% en la resistencia tangencial; y enseguida un incremento se únicamente el 10 % (figura 5.42).



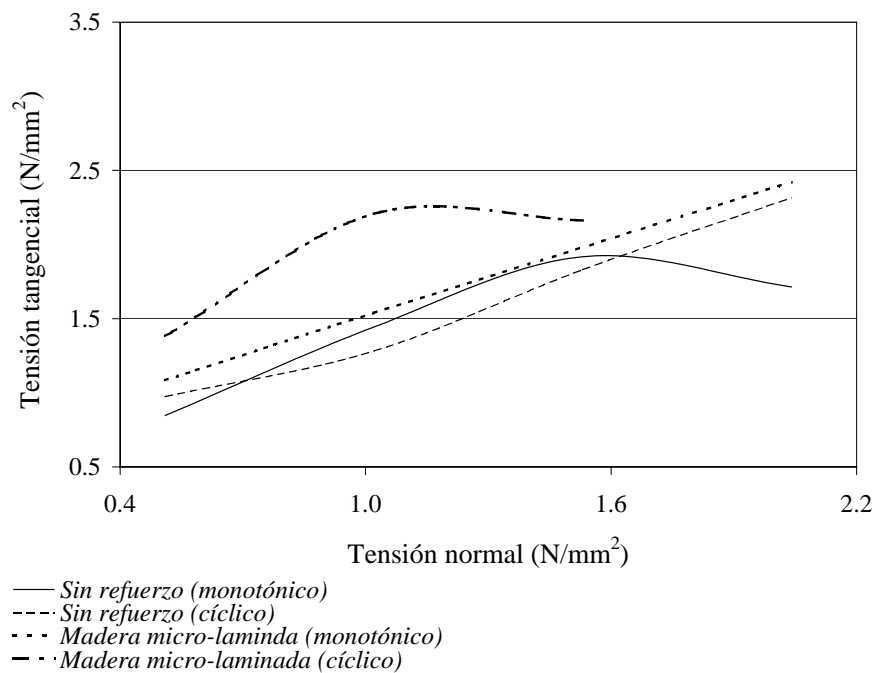
**Figura 5. 42 — Envolventes de rotura y residual, de probetas reforzadas en una cara, con madera micro-laminada, sujetas a proceso cíclico durante la fase de carga tangencial.**

Los valores de cohesión exhibidos por las probetas reforzadas con madera micro-laminada, son 0.64 y 0.17 en los ensayos monotónicos; y 0.55 y 0 en los ensayos cíclicos. Los valores  $\text{tg } \phi$  son 0.87 y 0.75; y 1.61 y 1.35, respectivamente.

Frente a las probetas sin refuerzo, las envolventes de resistencia última de las probetas reforzadas con madera micro-laminada (figura 5.43) denotan las siguientes características:

En los ensayos monotónicos, los valores medios de la resistencia tangencial se incrementan en un 14 %; y los valores de cohesión y ángulo de rozamiento presentan un incremento de 94 % y una disminución de 17 %, respectivamente.

Las probetas reforzadas sometidas a ensayos cíclicos, muestran un incremento global de 20 % en la resistencia; y respecto a los valores de cohesión y ángulo de rozamiento exhiben incrementos de 20 % y 80 %, respectivamente.



**Figura 5.43—** Envolventes de la resistencia última tangencial de las probetas sin refuerzo y de las probetas reforzadas con madera micro-laminada bajo procesos de carga monotónico y cíclico.

### 5.5.6. Comportamiento de probetas reforzadas con baldosas cerámicas

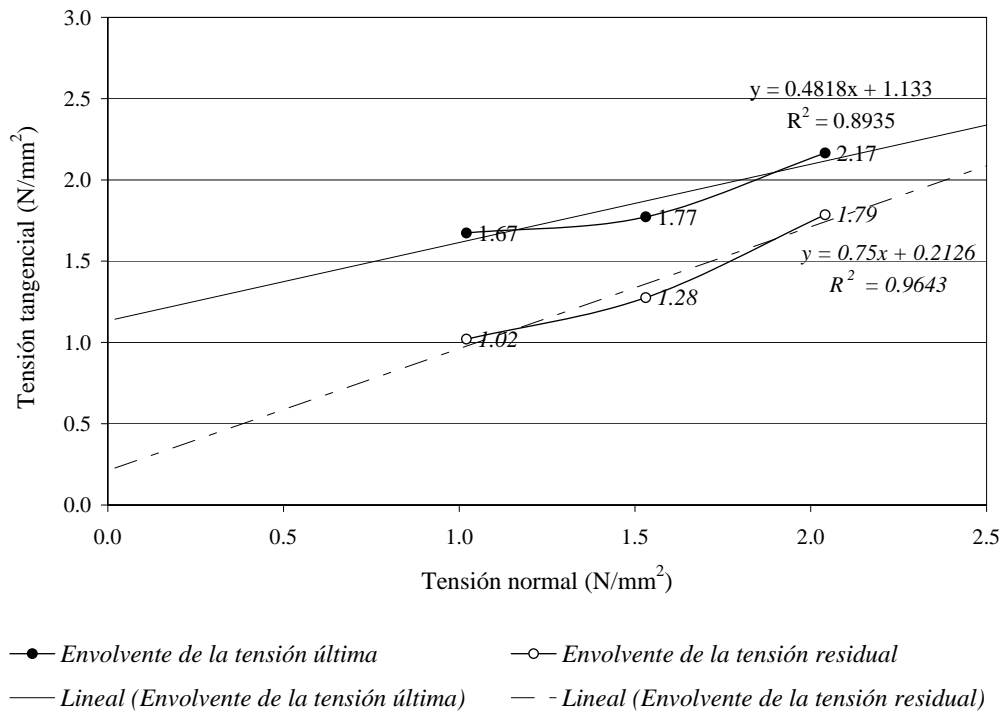
Las probetas reforzadas con baldosas cerámicas adheridas sobre una cara, sujetas a procesos de ensayo monotónicos, muestran un incremento global de la resistencia tangencial de 26 %.

Las curvas  $\sigma$ ,  $\epsilon$  muestran una deformación lineal hasta la rotura, que es de tipo dúctil y disminuye de forma gradual.

Los valores progresivos de tensión normal 1.02, 1.53 y 2.04 N/mm<sup>2</sup> inducen un incremento de 16 % en el primer caso, una disminución de 8 % en el segundo y, un nuevo incremento de 26 % ante el valor más alto de tensión normal, frente a los valores medios arrojados por las probetas sin refuerzo.

La envolvente de rotura muestra una tendencia lineal. El incremento de la tensión tangencial registrado bajo 1.53 N/mm<sup>2</sup> de tensión normal es de 6 %; y bajo una tensión normal de 2.04 N/mm<sup>2</sup> se registra un incremento de 22%. La envolvente de tensión residual muestra una tendencia similar; con incrementos de 25 y 40 % (figura 5.44).

Los valores de la cohesión y del ángulo de rozamiento son 1.13 y 0.22; y 0.48 y 0.75, respectivamente.



**Figura 5. 44 — Envolventes de rotura y residual, de probetas reforzadas en una cara, con baldosas cerámicas, sujetas a proceso monotónico durante la fase de carga tangencial.**

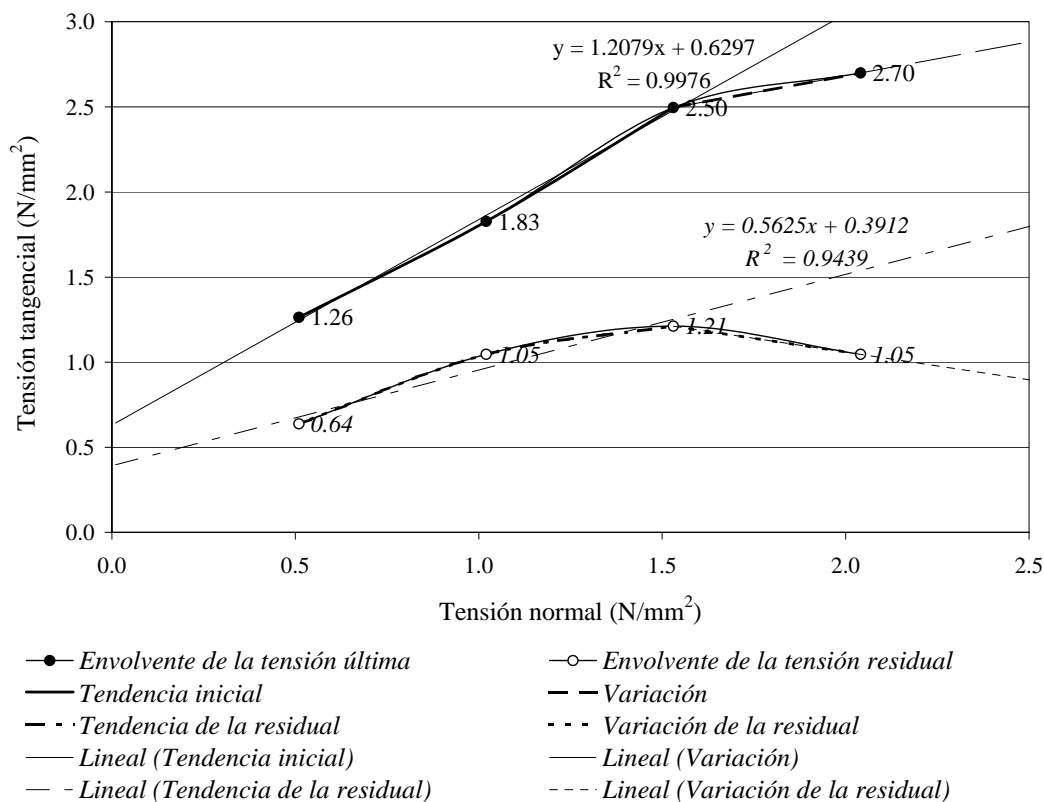
Las probetas similares ensayadas bajo el proceso de carga cíclico, presentan algunas diferencias: el incremento global resistente, frente a las probetas sin refuerzo, es de 29 %. Los incrementos en la resistencia tangencial bajo las tensiones normales 0.51, 1.02, 1.53 y 2.04 N/mm<sup>2</sup> son de 30, 43, 37 y 16 %, respectivamente.

Las curvas  $\sigma$ ,  $\epsilon$  muestran una deformación lineal durante el proceso de carga tangencial; con un fallo de tipo dúctil, en donde la disminución de la resistencia tangencial es gradual.

Las envolventes última y residual muestran evoluciones distintas. En el primer caso se desarrolla una tendencia lineal, en las probetas sujetas a tres valores de incremento gradual de la tensión normal; y se percibe un porcentaje de incremento menor en la última adición. Sobre el valor medio de tensión tangencial de las probetas sujetas a 0.51 N/mm<sup>2</sup> de tensión normal, se producen incrementos de 45 y 37 % en la fase lineal; y de 8 % en la variante final.

En la envolvente residual, la fase lineal presenta incrementos de 64 y 15 %; y una disminución tras el último incremento de la tensión normal, de 11 % (figura 5.45).

Los valores de la cohesión y del módulo de rozamiento son 0.63 y 0.39; y 1.20 y 0.56, respectivamente.



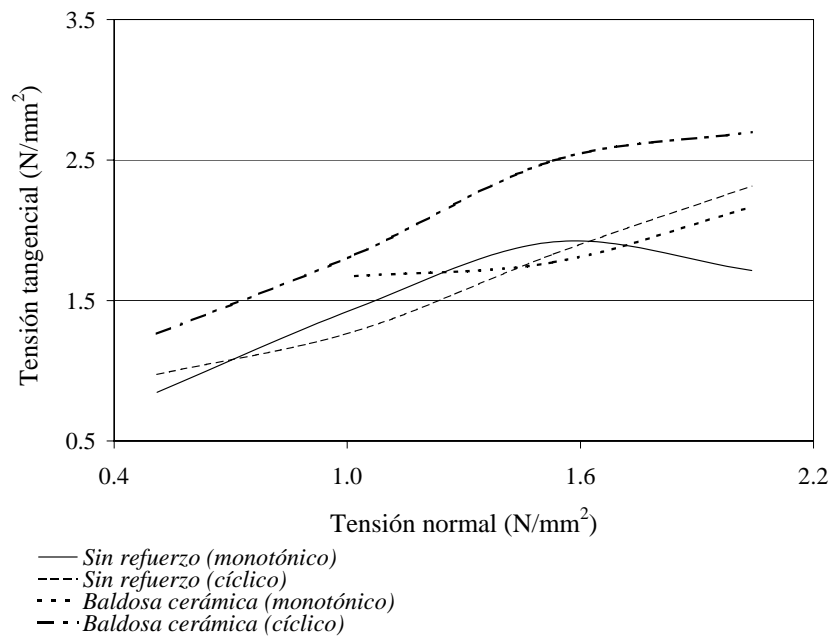
**Figura 5. 45 — Envolturas de rotura y residual, de probetas reforzadas en una cara, con baldosas cerámicas, sujetas a proceso cíclico durante la fase de carga tangencial.**

Las envolventes de resistencia última de las probetas reforzadas baldosas cerámicas, frente a los perfiles de comportamiento de las probetas sin refuerzo, muestran que:

En los ensayos monotónicos, se obtiene un incremento medio en la resistencia tangencial de 26 %. El valor de cohesión es superior y el ángulo de rozamiento es inferior. La media de los valores de rigidez se sitúa 45 % por encima de las probetas sin refuerzo.

Las probetas sujetas a ensayos cíclicos, reflejan un incremento en la media resistente de 31 %, con un valor de cohesión 91 % superior y un ángulo de rozamiento 35 % por encima. El valor medio de la rigidez se sitúa 22 % por encima de las probetas sin refuerzo (figura 5.46).





**Figura 5.46** — Envoltorios de la resistencia última tangencial de las probetas sin refuerzo y de las probetas reforzadas con baldosas cerámicas bajo procesos de carga monotónico y cíclico.

### 5.5.7. Modelos de comportamiento

Se proponen modelos representativos del comportamiento de las probetas sin refuerzo y de las muestras reforzadas con los cuatro sistemas utilizados.

En primer término se exponen dos modelos representativos de las curvas tensión-deformación y; enseguida se despliegan cuatro modelos característicos de las envoltorios de rotura exhibidas en todas las variables consideradas en el estudio.

#### 5.5.7.1. Modelos propuestos para las curvas tensión-deformación

Se identifican dos modelos de comportamiento en los ensayos, los cuales reflejan fundamentalmente tendencias de fallo con carácter frágil o dúctil. Se observan las alteraciones que los procesos de refuerzo producen en el comportamiento de los especímenes. Por lo general las variables geométricas aplicadas en los procedimientos de refuerzo de las probetas conjuntos pertenecientes a un grupo característico mantienen el mismo perfil de comportamiento.

Los valores de tensión tangencial máxima ( $\tau_u$ ) y residual ( $\tau_r$ ); el modulo de deformación transversal (G) y los valores de deformación principal ( $\epsilon_u$ ) y en algunos casos residual ( $\epsilon_r$ ), son los parámetros que denotan los modos de fallo propios de cada grupo.

El primer modelo (denominado *Mod-1*) presenta una fase inicial de comportamiento lineal, hasta alcanzar la resistencia última ( $\tau_u$ ) seguida por un fallo de tipo frágil en donde la

resistencia tangencial desciende hasta situarse en un valor residual ( $\tau_r$ ); posteriormente el espécimen mantiene un desplazamiento constante (figura 5.47).

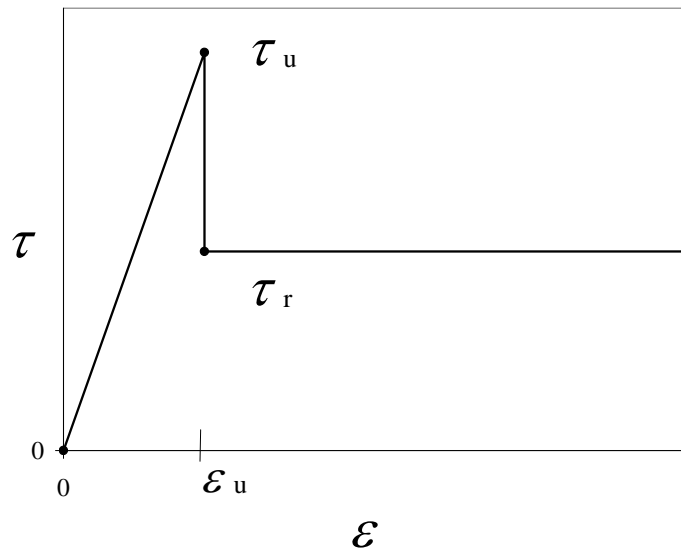


Figura 5.47 — Modelo de comportamiento *Mod-1*.

El segundo modelo de comportamiento (denominado *Mod-2*) muestra una fase inicial de deformación lineal, hasta el límite de la resistencia tangencial ( $\tau_u$ ).

La rotura es de tipo dúctil; y la resistencia desciende hasta adoptar el valor  $\tau_r$ . Al final presenta un desplazamiento constante (figura 5.48).

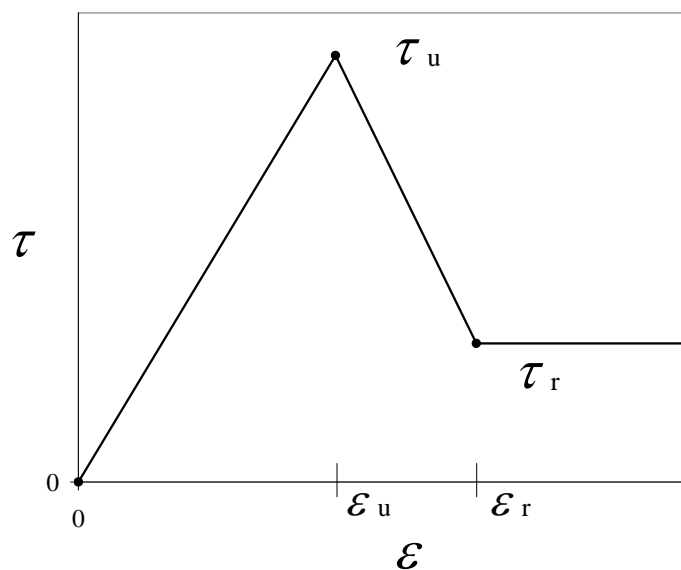


Figura 5.48 — Modelo de comportamiento *Mod-2*.

A continuación se presentan los parámetros registrados en los ensayos. Posteriormente se correlacionan los modelos de comportamiento con los procesos de refuerzo y los procedimientos de ensayo aplicados.

<i>Tratamiento de refuerzo y proceso de ensayo</i>	$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	<i>Modelo de comportamiento</i>	$\tau_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_r$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon_u$ (mm)	$\epsilon_r$ (mm)	G
<i>Sin refuerzo, proceso monotónico</i>	0.51	<i>Mod-1</i>	0.85	0.43	2.50	-	3.39
	1.02		1.44	0.79	2.10	-	6.87
	1.53		1.92	1.18	2.25	-	8.52
	2.04		1.71	1.51	3.00	-	5.71
<i>GFRP en una cara, 90° Proceso monotónico</i>	0.51	<i>Mod-2</i>	1.35	0.54	4.00	5.5	3.39
	1.02		1.80	0.89	2.90	4.8	6.21
<i>*GFRP en una cara, 45° Proceso monotónico</i>	2.04	<i>Mod-2</i>	2.83	1.76	3.40	4.5	8.32
<i>*GFRP en dos caras, 45° Proceso monotónico</i>	0.51	<i>Mod-2</i>	2.22	0.51	4.20	6.0	5.28
<i>GFRP en dos caras, 90° Proceso monotónico</i>	0.51	<i>Mod-2</i>	1.88	0.51	3.90	9.0	4.82
	1.02		2.41	1.22	3.95	4.2	6.11
	1.53		3.04	1.91	3.95	4.8	7.71
	2.04		2.93	1.79	4.05	7.1	7.24
<i>AFRP en dos caras, 90° Proceso monotónico</i>	0.51	<i>Mod-2</i>	1.21	0.43	2.00	6.0	6.05
	1.02		1.66	0.82	2.50	5.6	6.65
	1.53		2.29	1.22	2.50	5.0	9.18
	2.04		2.54	1.53	3.50	7.0	7.25
<i>Madera micro-laminada en una cara, 45° Proceso monotónico</i>	0.51	<i>Mod-1</i>	1.09	0.51	1.75	-	6.20
	1.02		1.54	1.02	1.80	-	8.55
	2.04		2.42	1.68	2.20	-	11.00
<i>Baldosa cerámica en una cara Proceso monotónico</i>	1.02	<i>Mod-1</i>	1.67	1.02	2.00	-	8.37
	1.53		1.77	1.28	2.10	-	8.44
	2.04		2.17	1.79	2.20	-	9.84
<i>Sin refuerzo, proceso cíclico</i>	0.51	<i>Mod-1</i>	0.97	0.45	3.00	-	3.25
	1.02		1.28	0.87	2.50	-	5.12
	1.53		1.83	1.29	2.50	-	7.32
	2.04		2.32	1.28	3.50	-	6.62
<i>GFRP en una cara, 90° Proceso cíclico</i>	0.51	<i>Mod-2</i>	1.59	0.88	3.00	3.5	5.29
	1.02		1.76	1.05	3.20	2.8	5.51
	1.53		2.01	1.40	2.10	3.9	9.57
	2.04		2.67	1.44	3.00	3.0	8.91
<i>GFRP en dos caras, 90° Proceso cíclico</i>	1.02	<i>Mod-2</i>	2.18	1.01	3.50	2.5	6.22
	1.53		2.71	1.48	2.90	3.1	9.35
	2.04		2.18	1.21	4.00	6.5	5.44

<i>Tratamiento de refuerzo y proceso de ensayo</i>	$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	<i>Modelo de comportamiento</i>	$\tau_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_r$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon_u$ (mm)	$\epsilon_r$ (mm)	G
<i>AFRP en una cara, 90° Proceso cíclico</i>	0.51	<i>Mod-2</i>	1.35	0.40	2.60	2.6	5.21
	1.02		1.80	0.93	2.80	2.2	6.45
	1.53		1.97	1.20	3.00	3.0	6.56
	2.04		3.04	1.53	2.50	3.1	12.18
<i>AFRP en dos caras, 90° Proceso cíclico</i>	0.51	<i>Mod-2</i>	2.54	0.71	3.95	1.5	6.43
	1.02		2.90	0.96	4.20	1.8	6.90
	1.53		3.04	1.38	3.80	2.2	7.99
	2.04		2.87	1.73	3.50	2.5	8.21
<i>Madera micro-laminada en una cara; proceso cíclico</i>	0.51	<i>Mod-1</i>	1.38	0.64	2.60	-	5.32
	1.02		2.21	1.33	3.35	-	6.61
	1.53		2.16	1.47	2.65	-	8.16
<i>Baldosa cerámica en una cara Proceso cíclico</i>	0.51	<i>Mod-1</i>	1.26	0.64	2.90	-	4.36
	1.02		1.83	1.05	3.00	-	6.09
	1.53		2.50	1.21	2.50	-	9.98
	2.04		2.70	1.05	3.95	-	6.83

\* Únicamente se realizaron ensayos bajo un valor de tensión normal; por tanto éstos especímenes no son incluidos posteriormente en la determinación de las envolventes de rotura y residual.

**Tabla 5.4 — Parámetros registrados en los ensayos e identificación de los modelos de comportamiento.**

### 5.5.7.2. Modelos propuestos para las envolventes de rotura

Se consideran varios parámetros en la determinación de los modelos propuestos para las envolventes de rotura. Primeramente la evolución de los valores medios de resistencia tangencial, frente a las aplicaciones progresivas de carga normal durante la fase de compresión de los paneles. Intervienen también los valores de cohesión registrados, tanto en las envolventes de rotura como residual; y las variaciones del ángulo de rozamiento.

En el primer modelo de la envolvente de rotura, denominado *Env1*, la tendencia es lineal, frente a los cuatro valores de tensión normal aplicados; y la envolvente residual sigue una trayectoria similar (figura 5.49).

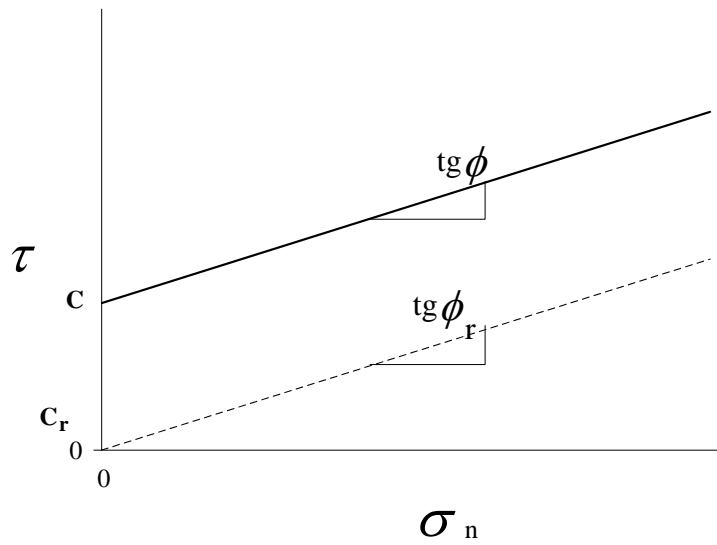


Figura 5.49 — Modelo *Env1* de las envolventes de rotura y residual.

El segundo modelo propuesto para la envolvente de rotura, denominado *Env2*, presenta una variación en la tendencia de la resistencia tangencial, al superar un valor determinado de tensión normal. Sin embargo, la evolución de la resistencia residual es lineal hasta el último valor de tensión normal aplicado (figura 5.50).

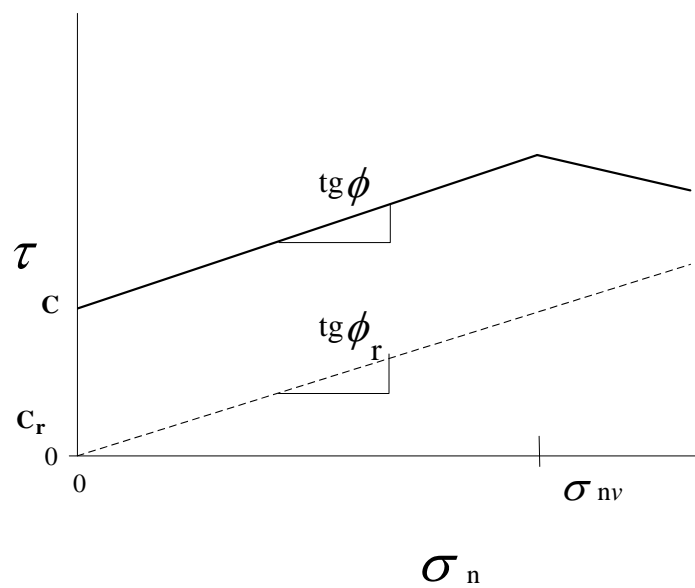


Figura 5.50 — Modelo *Env2* de las envolventes de rotura y residual.

El siguiente modelo de la envolvente de rotura, denominado *Env3*, presenta una evolución lineal, similar a la mostrada en el modelo *Env1*. No obstante, la envolvente residual presenta una variación al superar uno de los valores de tensión normal aplicado (figura 5.51).

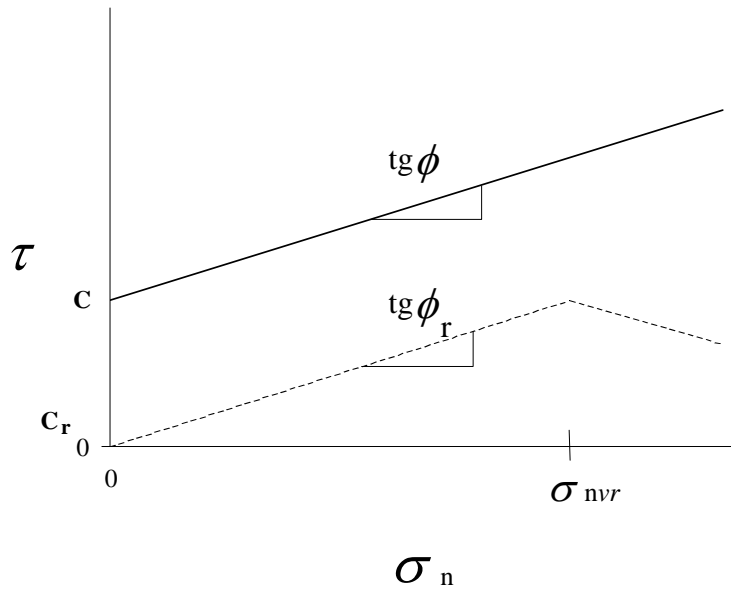


Figura 5. 51— Modelo *Env3* de las envolventes de rotura y residual.

Por último, el modelo de la envolvente de rotura, denominado *Env4*, exhibe una desviación al superar un valor determinado de tensión normal; siendo similar la envolvente residual (figura 5.52).

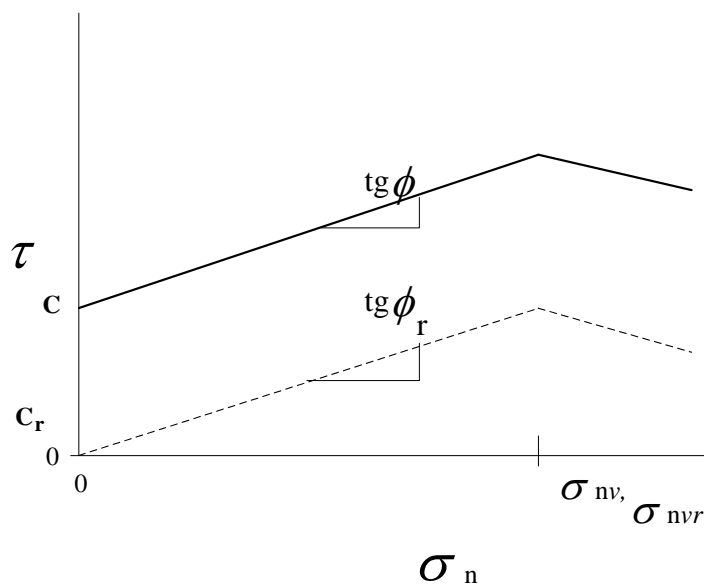


Figura 5. 52— Modelo *Env4* de las envolventes de rotura y residual.

En la tabla 5.5 se presentan los parámetros obtenidos de las envolventes de rotura y residual, de las probetas no reforzadas y de las aplicaciones de refuerzo, sujetas a procesos monotónicos y cíclicos durante la fase de carga tangencial.

En la primer columna de datos se describen brevemente las características del tratamiento aplicado y del proceso de ensayo de las probetas. En las columnas subsecuentes se mencionan los modelos de la envolvente de rotura; los valores de cohesión (C); el ángulo de rozamiento ( $\text{tg } \phi$ ) y; el último valor de tensión normal registrado, en los casos en que se presentaron variaciones en las tendencias de la envolvente de rotura o residual ( $\sigma_{nv}$  y  $\sigma_{nvr}$ ).

<i>Tratamiento de refuerzo y proceso de ensayo</i>	<b>Modelo de la envolvente de rotura</b>	<b>Envolvente de rotura</b>			<b>Envolvente residual</b>		
		<b>C</b>	<b><math>\text{tg } \phi</math></b>	<b><math>\sigma_{nv}</math> (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Cr</b>	<b><math>\text{tg } \phi_r</math></b>	<b><math>\sigma_{nvr}</math> (N/mm<sup>2</sup>)</b>
<i>Sin refuerzo, proceso monotónico</i>	Env1	0.33	1.05	1.53	0	0.71	-
<i>Sin refuerzo, proceso cíclico</i>	Env4	0.46	0.90	-	0	0.82	1.53
<i>GFRP en una cara, 90° Proceso monotónico</i>	Env4*	0.90	0.88	-	0.17	0.7	-
<i>GFRP en dos caras, 90° Proceso monotónico</i>	Env4	1.28	1.14	1.53	0.19	1.37	1.53
<i>GFRP en una cara, 45° Proceso cíclico</i>	Env4	1.36	0.41	1.53	0.59	0.51	1.53
<i>GFRP en una cara, 90° Proceso cíclico</i>	Env4	1.11	1.05	1.53	0	0.92	1.53
<i>AFRP en una cara, 90° Proceso monotónico</i>	Env2	0.64	1.06	1.53	0	0.72	-
<i>AFRP en una cara, 90° Proceso cíclico</i>	Env2	1.09	0.60	1.53	0	0.72	-
<i>AFRP en dos caras, 90° Proceso cíclico</i>	Env2	2.32	0.49	1.53	0.32	0.68	-
<i>Madera micro-laminada en una cara, 45°; proceso monotónico</i>	Env1	0.64	0.87	-	0.18	0.75	-
<i>Madera micro-laminada en una cara; proceso cíclico</i>	Env4	0.56	1.61	1.02	0	1.35	1.02
<i>Baldosa cerámica en una cara Proceso monotónico</i>	Env1	1.13	0.48	-	0.21	0.75	-
<i>Baldosa cerámica en una cara Proceso cíclico</i>	Env4	0.63	1.20	1.53	0.39	0.56	1.53

\* Se considera aplicable el modelo correspondiente a los otros casos de refuerzo GFRP (env4).

**Tabla 5.5 — Parámetros obtenidos de las envolventes de rotura y residual, de las probetas no reforzadas y de las aplicaciones de los sistemas de refuerzo.**

### 5.5.7. Comparativo de la eficacia de los tratamientos de refuerzo

A continuación se lleva a cabo una descripción comparativa, del comportamiento característico de las probetas reforzadas con las aplicaciones de GFRP, AFRP, madera micro-laminada y baldosas cerámicas, descritas en el actual subapartado. También se considera la información obtenida en los ensayos de rotura de probetas reforzadas con CFRP (descrita en el subapartado 3.3. del capítulo 3).

Toda la información se analiza frente a las características registradas en los ensayos de probetas no reforzadas, considerando la influencia de los sistemas de refuerzo en el incremento de la resistencia de los especímenes ante cargas tangenciales; la influencia en la rigidez y; en el mecanismo de rotura.

Es muy importante subrayar que las aplicaciones geométricamente equilibradas; esto es, aplicadas en las dos caras de los especímenes, influyen en primera instancia y de manera fundamental. Por ello se mencionan en todos los casos, frente a todas las conclusiones derivadas del estudio.

Así mismo, el desempeño de los sistemas de refuerzo se contempla desde dos perspectivas correspondientes a un mismo carácter global, pero independientes en el proceso analítico: el comportamiento de las curvas  $\sigma$ ,  $\epsilon$ ; y las características de las envolventes de rotura  $\tau$ ,  $\sigma$ .

Los sistemas de refuerzo en conjunto con las características de aplicación utilizadas manifiestan las siguientes pautas de comportamiento:

El sistema de refuerzo con tejido GFRP aporta a las probetas incrementos de resistencia biaxial de 25 hasta 162 %, dependiendo principalmente del estado de equilibrio geométrico (refuerzo en una o dos caras). Los incrementos más altos se obtienen de las aplicaciones de dos capas de tejido superpuestas, sobre las dos caras de las probetas. Así mismo, el refuerzo influye en el tipo de fallo, aportando ductilidad a los especímenes, tanto en los ensayos monotónicos como cíclicos. Los valores medios del módulo de rigidez transversal se incrementan entre 6 y 31 %.

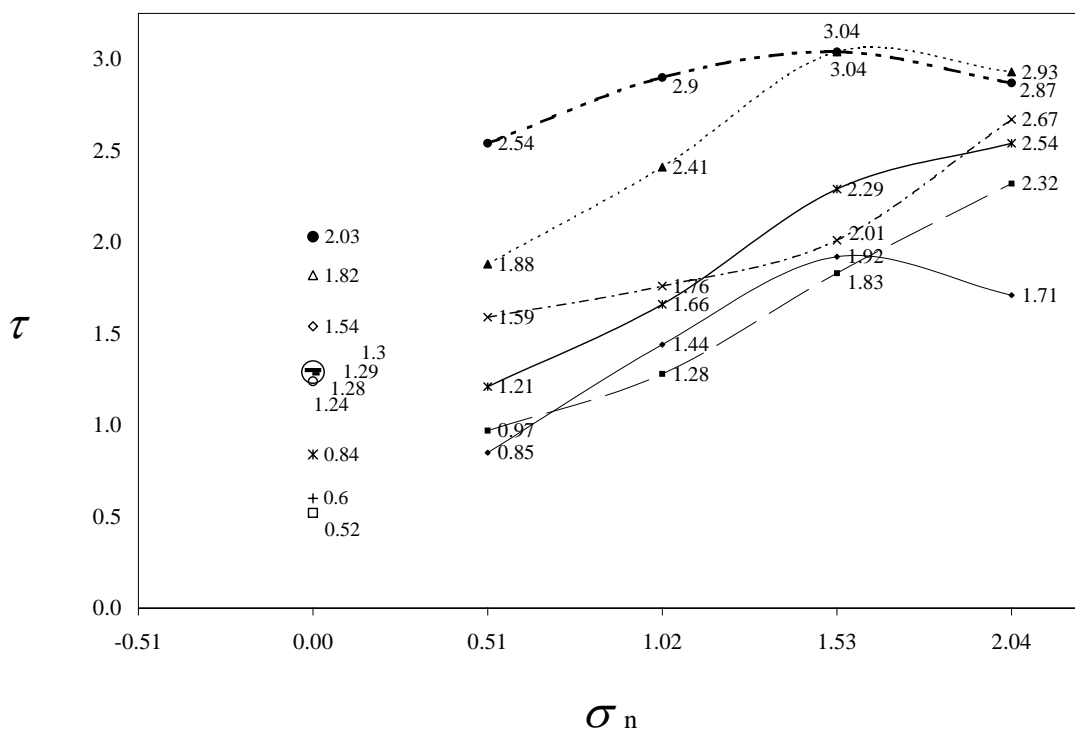
Las aplicaciones de tejido AFRP aportan a las probetas los valores más altos obtenidos en el trabajo experimental: desde 48 hasta 161 % sobre los valores medios arrojados por las probetas sin refuerzo. Los valores más altos corresponden a las aplicaciones de tejido con una orientación de 45° respecto a las juntas de mortero; en las dos caras de las probetas. El refuerzo con tejido AFRP aporta también ductilidad, incrementando los valores medios del módulo de rigidez transversal entre 19 y 32 %.

Los refuerzos de madera micro-laminada y baldosas cerámicas, aportan en a las probetas sometidas a ensayo biaxial, los menores incrementos en la resistencia a corte; 14 y 26 % respectivamente, considerando que las aplicaciones se realizaron únicamente en una cara de las probetas. Sin embargo, ambos sistemas aportan ductilidad a los especímenes, incrementando el valor medio del módulo de rigidez transversal en 40 y 45 % respectivamente y en los ensayos monotónicos; y 20 y 22 % en los casos de proceso cíclico.



Los tratamientos de refuerzo con CFRP (campaña experimental descrita en los subapartados 3.3, 4.3 y 5.3). aplicados sobre probetas ensayadas en un proceso de carga uniaxial; aportan incrementos resistentes hasta del 200 % frente a los valores de las probetas sin refuerzo, entre los tratamientos aplicados sobre dos caras; y hasta de 240 % en aplicaciones de confinamiento, a manera de zuncho.

En la figura 5.53 se presentan las envolventes de rotura de las probetas sometidas a ensayos biaxiales; y se sitúan los valores medios obtenidos en los ensayos uniaxiales realizados con las probetas reforzadas con CFRP.



- Sin refuerzo (biaxial monotónico)
- ▲— Sin refuerzo (biaxial cíclico)
- ◆— GFRP (biaxial monotónico)
- ×— GFRP (biaxial cíclico)
- \*— AFRP (biaxial monotónico)
- AFRP (biaxial cíclico)
- + Uniaxial, sin refuerzo (monotónico)
- Uniaxial, laminado paralelo (monotónico)
- Uniaxial, laminado 90° (monotónico)
- Uniaxial, laminado 45° (monotónico)
- △ Uniaxial, laminado 45° en "X" (monotónico)
- × Uniaxial, laminado 45° en "V" (monotónico)
- Uniaxial, tejido 45° (monotónico)
- Uniaxial, tejido paralelo (monotónico)
- ◇ Uniaxial, zuncho tejido 45° (monot.)
- Uniaxial, zuncho tejido 45° dos capas (monot.)

**Figura 5. 53 — Situación de lo valores medios arrojados por las probetas sometidas a ensayo uniaxial y reforzadas con tejidos o laminados CFRP, frente a las envolventes de rotura y residual de probetas sujetas a ensayo biaxial, reforzadas con GFRP, AFRP, madera micro-laminada y baldosas cerámicas.**

Puede observarse que el valor de la resistencia última de las probetas sin refuerzo sometidas a ensayo uniaxial, se sitúa debajo de los valores medios de las probetas no reforzadas sujetas a al valor más bajo de tensión normal, en los ensayos biaxiales.

El mayor valor resistente obtenido en los ensayos uniaxiales ( $\sigma = 0$ ) corresponde a las intervenciones de confinamiento (aplicaciones de tejido CFRP a manera de zuncho) que a su vez, presentan un valor ligeramente mayor que el mostrado por las probetas reforzadas con GFRP, sometidas a proceso de ensayo cíclico y sujetas a una tensión normal igual a  $0.51 \text{ N/mm}^2$ .

Varias aplicaciones de refuerzo CFRP se sitúan en un valor de rotura en torno a  $1.3 \text{ N/mm}^2$ , próximo al valor reflejado por las probetas reforzadas con tejido AFRP, cargadas biaxialmente y ensayadas bajo proceso monotónico, bajo ( $\sigma = 0.51 \text{ N/mm}^2$ ).

Los valores más altos del módulo de rigidez transversal, de las probetas reforzadas con CFRP y sujetas a ensayo uniaxial, corresponden a los casos de refuerzo *Uniaxial, laminado 45°*; *Uniaxial, laminado 45° en "X"*; y *Uniaxial, tejido zuncho 45° dos capas (monotónicos)* que se sitúan en 50, 57 y 117 % sobre el valor medio de las probetas sin refuerzo.

Los valores medios del módulo de rigidez de las probetas reforzadas con laminado y tejido CFRP, superan los incrementos de rigidez causados por las aplicaciones de refuerzo con tejidos GFRP y AFRP; en las probetas sujetas a procesos de ensayo biaxial, cuyos valores de incremento median entre 6 y 45 %.

# CAPÍTULO

# 6

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS  
DE DESARROLLO



## 6.1. CONTENIDO

En primer término se exponen las conclusiones referentes al estado actual del conocimiento, y a continuación se plantean aquéllas resultantes de la experimentación y análisis de resultados relativos a los tratamientos de reparación y refuerzo estudiados. En cuanto a éstos últimos, las conclusiones derivadas de las campañas experimentales se fundamentan en la observación conjunta de su eficacia, en términos cualitativos y cuantitativos conforme al desempeño mecánico y resistente registrado en los elementos ensayados. Se analiza asimismo el nivel de dificultad o laboriosidad requerido por la aplicación de los tratamientos de reparación y refuerzo considerados.

Posteriormente se proponen perspectivas de desarrollo y ámbitos de interés para futuras investigaciones.

## 6.2. CONCLUSIONES REFERENTES AL ESTADO DEL CONOCIMIENTO

Durante las tres últimas décadas se ha desarrollado cierto conocimiento en cuanto al comportamiento mecánico de la obra de fábrica. Pueden encontrarse diversas publicaciones que giran en torno a la influencia que tienen en las paredes diversas condiciones tensionales.

Da la revisión del estado actual del conocimiento resultan las siguientes conclusiones:

- Gran parte de las contribuciones resultan del estudio de elementos individuales (prismas o probetas) o bien de especímenes de mayor complejidad tales como paneles compuestos. Existen varios estudios relacionados con el comportamiento de las paredes ante cargas de flexión perpendiculares a su propio plano, en contraste con un reducido número de publicaciones referentes al comportamiento de las paredes ante tensiones de cortante, también ocurridas en su propio plano. De igual manera se han publicado numerosos trabajos de investigación acerca del comportamiento de especímenes de obra de fábrica reparados o reforzados sometidos a cargas de flexión, y una cantidad considerablemente menor en cuanto a elementos estructurales tratados y sujetos a tensiones de corte.
- En cuanto a los procesos de ensayo, se dispone de diversas prescripciones y normativas vigentes y de gran utilidad, las cuales determinan las características del ensayo conforme a las particularidades de las muestras, para ensayos sujetos a diferentes condiciones de tensión y bajo procedimientos de uniaxiales o biaxiales. No existen prescripciones específicas para el ensayo de especímenes tratados con algún sistema de reparación o refuerzo.
- Los trabajos publicados por diversos investigadores respecto a la reparación de paredes por medio de inyección de lechadas y sustitución de capas superficiales de mortero, indican que dichos tratamientos permiten normalmente una recuperación casi total de las cualidades resistentes y mecánicas originales de los especímenes.

- En las publicaciones referentes a la reparación de paredes puede encontrarse que los autores comprueban la eficacia de la inyección de resinas epoxi, aunque cuestionan la conveniencia de su utilización debido a la similitud entre los resultados que éstas presentan una vez sometidas a tratamientos convencionales (morteros de cal o cemento) y a que implican costos muy elevados y mayor dificultad de empleo.
- Se detecta una tendencia hacia la búsqueda de alternativas basadas en la inyección de lechadas de materiales convencionales tradicionales (mortero o cemento), optimizadas mediante la adición de arenas u otras partículas finas, o empleando diferentes proporciones de material a las mezclas.
- Se percibe amplio interés en la utilización de resinas epoxi en trabajos de rehabilitación y refuerzo estructural.
- Respecto a los refuerzos con sistemas FRP, diversas publicaciones coinciden en su eficacia. Es notable la tendencia de la investigación hacia las aplicaciones de laminados y tejidos adheridos a la superficie por medio de resinas y adhesivos sintéticos.
- En particular se han desarrollado diversos estudios referentes a la respuesta de las paredes ante cargas de flexión. Existe congruencia entre varios autores respecto a los modos de fallo y al comportamiento frente a los tratamientos de refuerzo. Manifiestan opiniones a favor de las cualidades que éstas exhiben y se refieren al tema como un campo prometedor para el desarrollo de nuevas alternativas para refuerzo de las estructuras de obra de fábrica.

### **6.3. CONCLUSIONES SOBRE LOS TRATAMIENTOS DE REPARACIÓN**

Los tratamientos de reparación analizados mostraron en general resultados satisfactorios. Se constatan los siguientes aspectos:

- Los paneles inicialmente sometidos a un proceso de carga y rotura, reparados con los tratamientos de inyección de resina líquida o relleno de cavidades con mortero, ostentan valores resistentes que van desde un 17 % por debajo, hasta un 9 % sobre los valores de los especímenes intactos de referencia. El índice de variación entre los diferentes tratamientos respecto a la recuperación de la capacidad portante de las paredes reparadas puede considerarse bajo.
- Los tratamientos que implican los procedimientos más sencillos de preparación mecánica de los paneles (restitución de juntas y saturación de vacíos verticales con mortero) muestran los valores resistentes más bajos frente a los valores de referencia de los paneles intactos. En estos casos influye más la naturaleza del método de intervención que los propios materiales utilizados. Cuando la aplicación de mortero se limita a los segmentos verticales de las líneas de fisura, se restituye sólo parcialmente la continuidad mecánica de la fábrica. Los segmentos horizontales de la línea de fisura de los paneles, bajo dichas

condiciones de preparación, trabajan únicamente en función del rozamiento producido entre la superficie de las piezas y por la tensión vertical normal aplicada sobre panel. Los paneles tratados bajo dichas condiciones manifiestan valores de resistencia en torno a un 15 % por debajo del valor de carga última de los paneles intactos.

- En contraste con el punto anterior, los efectos producidos con los mismos tratamientos pero bajo un procedimiento de restitución total de las fracciones de mortero perdidas, y el relleno de las cavidades formadas en la línea de fisura, muestra valores resistentes finales de recuperación total de la resistencia original. En estos casos la preparación previa de los paneles es más profunda, pues incluye la sustracción del mortero original dañado y la eliminación mecánica de las capas superficiales de la fábrica, tanto en los segmentos de fisura verticales como en los horizontales. La restitución total de la continuidad mecánica en los paneles regenera en los mismos la capacidad portante original.
- Los tratamientos más complejos como la inyección de resina líquida epoxi, que implican un procedimiento de mayor dificultad técnica, muestran niveles de recuperación de la capacidad portante similares a los obtenidos con intervenciones de dificultad técnica intermedia.
- La restitución de la continuidad mecánica en los especímenes, reemplazando total o parcialmente los fragmentos dañados, influye directamente en la recuperación de la capacidad portante y en el comportamiento mecánico de las paredes. La eficacia de los tratamientos de reparación obedece principalmente a las particularidades del acondicionamiento previo de los especímenes, y se complementa con las propiedades mecánicas y resistentes de los materiales utilizados.

#### **6.4. CONCLUSIONES REFERENTES A LOS SISTEMAS DE REFUERZO**

En todas las aplicaciones de refuerzo se analizaron sistemas FRP y en la última campaña se emplearon también placas de madera micro-laminada y baldosas de cerámica. Se consideraron principalmente los patrones geométricos (la orientación de las fibras resistentes respecto a las juntas de mortero), el equilibrio mecánico (refuerzo en una o dos caras de la probeta) y la relación entre la superficie total de las caras de aplicación y la superficie neta reforzada.

En cuanto al comportamiento mecánico y resistente de los especímenes se consideró principalmente el incremento de la resistencia ante las cargas de cortante de los mismos, tomando además en cuenta la influencia de los refuerzos en la rigidez de los especímenes y en el modo de fallo.

En la campaña de ensayos de rotura de probetas reforzadas con tejidos y laminados de polímeros reforzados con fibra de carbono (CFRP), el análisis de los resultados obtenidos permitió plantear algunas observaciones generales frente a los conceptos señalados anteriormente: las características de los sistemas o tratamientos de refuerzo aplicados, la relación geométrica entre la orientación óptima resistente de las bandas de refuerzo con la

mecánica de transmisión de tensiones del elemento reforzado, el equilibrio mecánico de la transmisión de tensiones de los especímenes reforzados y, las ventajas del confinamiento del elemento estructural (especímen) con el sistema de refuerzo, habiendo observado los siguientes aspectos:

- Las características físicas, geométricas y mecánicas del material o del sistema de refuerzo influyen decisivamente en el nivel de dificultad de la aplicación. A diferencia de los laminados de CFRP, los tejidos de fibra permiten mayor adaptación a las formas y texturas irregulares de los especímenes de obra de fábrica. Así mismo, estos factores influyen directamente en el nivel de dificultad del tratamiento. La manipulación de los laminados CFRP durante su preparación y aplicación es más compleja que la requerida por los tejidos, pues incluye el corte de los segmentos o bandas y la adaptación geométrica a la superficie.
- La orientación de las fibras resistentes del tratamiento de refuerzo aplicado conforme a la transmisión de tensiones en los especímenes, influye fuertemente en el comportamiento del elemento reforzado. El correcto funcionamiento del sistema de refuerzo depende directamente de la coherencia de la disposición del mismo (en particular, de la orientación de las fibras) con respecto al estado tensional experimentado por el elemento. La resistencia unidireccional es común en los laminados CFRP, de manera que una aplicación inadecuada disminuye o neutraliza su eficacia. Los tejidos CFRP, siendo en este caso también unidireccionales, pueden emplearse en más de una capa y adaptarse, por tanto, para reforzar en más de una dirección.
- Como es esperable, una disposición simétrica del refuerzo optimiza su eficacia. Esto es evidente al contrastar los resultados obtenidos de los grupos de probetas reforzadas en una o en dos caras.
- El confinamiento de los especímenes con tejido CFRP es asimismo efectivo al efecto de incrementar la resistencia del elemento reforzado. Sin embargo, sólo algunos elementos estructurales de obra de fábrica (pilares, muretes y en casos experimentales paneles o probetas) admiten dicho procedimiento.
- Los tratamientos de refuerzo con CFRP aplicados sobre probetas ensayadas en un proceso de carga uniaxial aportan incrementos resistentes con valores incluso por encima del 200%, frente a los valores de las probetas sin refuerzo, entre los tratamientos aplicados sobre dos caras, e incluso superiores a 240% en aplicaciones de confinamiento a manera de zunchado.
- En el comportamiento registrado en los paneles aparecen ciertos problemas de incompatibilidad mecánica debido a la elevada rigidez del laminado o tejido CFRP con relación a la obra de fábrica. Bajo el solo efecto de la aplicación de la carga vertical, se observa daño precoz a cortante y a compresión en la obra de fábrica.



- Las aplicaciones de tejido apuntan hacia una mayor adaptabilidad mecánica a la fábrica que los laminados. En los ensayos no se produjo el desprendimiento prematuro de los tejidos, lo que sí fue observado en el caso de los laminados. Esto sucede cuando el tejido envuelve la pared generando un zunchado.
- El confinamiento (o zunchado) aplicado a paredes mediante tejido, ha demostrado resultar muy poco eficiente como refuerzo debido a la fuerte incompatibilidad mecánica experimentada entre obra de fábrica y refuerzo. En los experimentos se ha observado una rotura precoz durante la sola aplicación de la carga vertical, causada por el aplastamiento de la cerámica.
- Los problemas de incompatibilidad detectados, relacionados con la excesiva rigidez del refuerzo de CFRP, abren interrogantes en cuanto a la aplicabilidad de este tipo de refuerzo y a los correspondientes procedimientos de aplicación. Las aplicaciones de refuerzo realizadas y documentadas en la actual investigación se ejecutaron sobre paneles descargados, es decir previamente a la aplicación de la carga vertical. Lo anterior, aplicado a casos reales, correspondería a situaciones en que se realiza un apuntalamiento con descarga previa a la intervención. Este problema no aparecería, obviamente, en el caso de que el refuerzo se aplicara sobre paredes mantenidas en carga. Sin embargo, el problema de incompatibilidad mecánica detectado podría también manifestarse ante cargas horizontales, limitando en consecuencia la efectividad del refuerzo ante este tipo de cargas.
- Por todo ello, parece preferible emplear para el refuerzo de elementos de obra de fábrica materiales comparativamente menos rígidos que los derivados de la fibra de carbono. Entre ellos, cabe considerar aplicaciones basadas en polímeros reforzados con fibra aramida (AFRP) o con fibra de vidrio (GFRP), así como alternativas de corte más tradicional, como refuerzo con madera o cerámica.

El análisis de la última campaña de refuerzo, descrita en los subapartados 3.5, 4.5 y 5.5 de los capítulos 3, 4 y 5, que involucró diversas aplicaciones de refuerzo sobre tripletas de ladrillo sujetas a estados de tensión biaxial, da lugar a las siguientes conclusiones:

- El sistema de refuerzo GFRP aporta a las probetas incrementos de resistencia que superan porcentualmente los valores arrojados por las probetas no reforzadas, hasta por encima de 160%. Los incrementos más altos se obtienen de las aplicaciones de dos capas de tejido superpuestas, sobre las dos caras de las probetas. Los refuerzos con GFRP influyen en el tipo de fallo, aportando ductilidad a los especímenes, tanto en los ensayos monotónicos como cíclicos.
- Las aplicaciones de tejido AFRP aportan a las probetas los valores más altos obtenidos en el trabajo experimental. Los valores más altos corresponden a las aplicaciones de tejido con una orientación de las fibras resistentes de 45° respecto a las juntas de mortero y en las dos caras de las probetas. El refuerzo

con tejido AFRP aporta también ductilidad a los especímenes, incrementando los valores medios del módulo de rigidez transversal en porcentajes cercanos a veinte como mínimo y a treinta por ciento como máximo.

- Los refuerzos de madera micro-laminada y baldosas cerámicas, aportan a las probetas sometidas a ensayo biaxial, los menores incrementos en la resistencia a corte. No obstante, los dos sistemas aportan un incremento importante de la resistencia, así como rigidez y el aumento del valor medio del módulo de rigidez transversal, por encima del cuarenta por ciento en los ensayos monotónicos y en torno al veinte por ciento en los procesos de carga cíclicos. El comportamiento resultante resulta asimismo más dúctil.
- Se han propuesto modelos simples para la descripción de las relaciones tensión deformación observadas en los ensayos, todas ellas basadas en diagramas de tipo multilíneal.
- Se han formulado cuatro modelos para la descripción de las envolventes de rotura, definidos por la tendencia evolutiva en términos de tensión tangencial — tensión normal ( $\tau - \sigma$ ) y en cuanto a los valores máximos de resistencia última y residual.

## **6.5. CONCLUSIONES REFERENTES A LOS PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO**

- La utilización de pequeños ensamblajes facilita el desarrollo de campañas de ensayo más extensas, sea para la caracterización de especímenes y la comprobación de la influencia provocada por diversas intervenciones, o bien para la validación y comprobación de modelos numéricos o elementos simulados en programas informáticos.
- La realización de la campaña experimental de rotura de probetas intactas y reforzadas con laminados y tejidos CFRP, sujetas a tensión uniaxial, permitió definir las pautas de intervención para la siguiente campaña, que incluiría la experimentación con paneles de mayor complejidad.
- El uso de paneles a manera de especímenes de ensayo restringe las posibilidades de desarrollar un mayor número de ensayos y así facilitar la validación de tendencias y pautas de comportamiento, ya que la repetición de ensayos bajo iguales condiciones de carga y tratamiento implica mayor complejidad tanto en la preparación como en la ejecución.

## **6.6. PERSPECTIVAS DE DESARROLLO**

Se considera conveniente enfocar futuras investigaciones hacia algunos tópicos que contemplan tanto aspectos referentes a la propia línea de investigación, como algunos indirectamente relacionados.

A continuación se mencionan las áreas de estudio o conceptos de interés:

- El estudio de la correspondencia entre los resultados obtenidos a partir de ensayos individuales de formato reducido incluyendo el comportamiento característico, con los parámetros definidos a partir de ensayos de mayor formato como los paneles. Esto permitiría establecer procedimientos más sencillos y confiables para la comprobación experimental, útiles para validar el comportamiento de especímenes ante condiciones de tensión específicas o ante tratamientos de refuerzo o reparación, de igual manera que podrían validarse experimentalmente y con mayor facilidad modelos de simulación realizados a través de programas informáticos.
- Los tratamientos de reparación utilizando materiales tradicionales, específicamente los morteros o lechadas de cal y de cemento para el caso de las reparaciones, y madera o elementos de piedra o cerámica en el caso de actuaciones de refuerzo, pueden ser un campo de estudio de especial interés. En éste trabajo, los tratamientos de reparación más sencillos utilizados, en combinación con los procesos de preparación de los especímenes con un nivel medio de dificultad han arrojado resultados satisfactorios.
- Un tema interesante y sólo parcialmente desarrollado en esta investigación es la utilización de madera micro-laminada o embaldosado de cerámica como sistemas de refuerzo de paredes de obra de fábrica. La singularidad de ambos materiales radica en la compatibilidad mecánica que ofrecen frente a ésta última. Las placas de madera microlaminada adheridas a la superficie exhiben un comportamiento similar al de los sistemas de refuerzo FRP, aportando sin embargo, mayor ductilidad, así como un módulo de rigidez marcadamente inferior que éstos últimos. La utilización de baldosas cerámicas puede comportar un incremento considerable en la capacidad portante de las paredes
- Se considera muy importante desarrollar mayor investigación acerca de las aplicaciones de GFRP y AFRP, empleando para ello especímenes de ensayo de formatos mayores (paneles o paredes).
- Así mismo, aún ante los resultados indudablemente satisfactorios obtenidos sobretodo de las aplicaciones de refuerzo con GFRP y AFRP, se sugieren como aspectos necesarios en el desarrollo de dichas técnicas la comprobación y caracterización de la influencia en los elementos reforzados frente a los siguientes factores:
  - ~ Climáticos. Los cambios drásticos de temperatura y humedad o los ciclos de hielo-deshielo, además de estudios específicos de la impermeabilidad originada por las aplicaciones de resinas tipo epoxi o adhesivos de otra naturaleza. En la investigación aquí reportada se ha trabajado con pequeños y medianos formatos de especímenes (probetas y paneles), tomando en cuenta exclusivamente las condiciones de carga producidas en ellos. En relación a los compuestos GFRP, es conocido que por su carácter hidrocópico pueden experimentar o bien ocasionar en el elemento reforzado sensibles problemas de durabilidad.

- ~ Altas temperaturas. Los fabricantes y promotores de los refuerzos FRP advierten del debilitamiento o pérdida total de las características resistentes de las resinas epoxi frente a temperaturas relativamente bajas. Específicamente 62° C en el caso de las resinas utilizadas en las aplicaciones de CFRP.
- ~ Condiciones de intensa vibración. Aunque se han comprobado variaciones en los procesos de carga monotónicos y cíclicos no se han estudiado aún los efectos causados en los sistemas de refuerzo ante vibración.

## REFERENCIAS

**Albert, M. L., Elwi, A. E., y Cheng, J. J. R.** (2001) "Strengthening of unreinforced masonry walls using FRPs", *Journal of Composites for Construction*, Vol. 5, No. 2, pp. 76-83.

**Almusallam, T.H., Al-Salloum, Y.A., Alsayed, S.H. y Mosallam, A.S.** (2001) "Behavior of unreinforced masonry walls (URM) strengthened with FRP composite materials", 46<sup>th</sup> International SAMPE symposium, pp. 473-484.

**Alshebani, M. M., y Sinha, S. N.** (2000) "Stress-strain Characteristics of brick masonry under cycluc biaxial compression", *Journal of Structural Engineering*, Vol. 126, No. 9, pp. 1004-1007.

**Anthoine, A.** (1992) "In-plane behaviour of masonry: a literature review", *Reporte de Comission of the European Communities, Joint Research Centre, Institute for Safety Technology.*

**ASTM E 519.** "Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages", American National Standards Institute.

**ASTM Standard E 518-80.** Standard Test Methods for Flexural Bond Strength of Masonry. American National Standards Institute.

**Atkinson, R. H., Amadei, B. P., Saeb, S. y Sture, S.** (1989) "Response of masonry bed joints in direct shear", *J. Struct. Engrg.*, ASCE, vol. 115, No. 9, pp. 2276-2296.

**Atkinson, R. H., y Noland, J. L.** (1983) "A proposed Failure Theory for Brick Masonry in Compression", *Actas del 3rd Canadian Masonry Symposium, Edmonton, Canada*, pp. 5-1-5-17.

**Badoux, M., Elwady, M.A. y Lestuzzi, P.** (2002) "Earthquake simulator tests on unreinforced masonry walls before and after upgrading with composites", *actas del 12<sup>th</sup> European Conference on Earthquake Engineering, Londres, Reino Unido.*

**Balzac, G.J, Gold., W.J., y Kliger, H.S.** (2002) "Proposed qualification criteria for FRP systems used for infrastructure applications", 45<sup>th</sup> International SAMPE Symposium, pp. 1832-1839.

**Bastiniani, F., Tomasso, A.D., y Pascale, G.** (2001) "Ultrasonic non-destructive assesment of bonding defects in composite structural strengthening", *Composite Structures* 53, pp. 463-437.

**Benedetti, D., y Castellani, A.** (1979) "Comparative tests on strengthened stone masonry buildings", *actas de The 2nd U. S. National Conference on Earthquake Engineering, Stanford University, Sranford, California*, pp. 793-802.

- Borgsmiller, J. T., Schuller, M. P., Atkinson, R. H.** (1993) "Investigation of cementitious grout injection on masonry compressive behavior", Technical Report, Atkinson-Noland & Associates, Inc., Boulder, Colorado, E.U.A.
- Briccoli Bati, S., y Rovero, L.** (2000) "Consolidation of masonry arches with carbon-fiber reinforced plastics", actas del 12<sup>th</sup> Int'l Brick/Block masonry conference, Madrid, pp. 1571-1582.
- Briccoli Bati, S., y Rovero, L.** (2001) "Experimental validation of a proposed numerical model for the FRP consolidation of masonry arches", Historical Constructions, actas del 3<sup>rd</sup> Int'l Seminar, Guimaraes, Portugal, pp. 1057-1066.
- Calvi, B., M., Macchi, G., y Zanon, P.** (1985) "Random cyclic behavior of reinforced masonry under shear action", actas de 7th Int. Brick Masonry Conf., Melbourne, Australia.
- Capozucca, R.** (2001) "Brickwork masonry walls reinforced by CFRP" actas del 9th Canadian Masonry Symposium, Fredericton, Canada.
- Capozucca, R., Cerri, M. N.** (2000) "Analysis of an experimental masonry vault model damaged and strengthened by CFRP", actas de Mechanics of masonry structures strengthened with FRP materials, (en italiano) Venezia, 7-8 Dic., pp. 129-140.
- Casanovas, X., Castro V. A., Croci, G., Díaz, C., Gónzalez, M. J.L., Mañà F., Molins, C., Paricio, A., Roca, P., Rosell, J., y Rosell, J. R.** (1995) "Manual de diagnosi i intervenció en sistemes estructurals de parets de càrrega", Manuales de diagnòsis, Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Barcelona.
- Climent, M. B.** (1996) "Un modelo para el análisis del comportamiento resistente de construcciones de obra de fábrica", tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña.
- Creazza, G., Saetta, A.V., Matteazzi, R., y Vitalini, R.V.** (2001) "Analysis of masonry structures reinforced by FRP", Historical Constructions, actas del 3rd Int'l Seminar, Guimaraes, Portugal, pp. 539-545, 2001.
- Croci, D., D' Ayala, D., D' Asdia, P., y Palombino, F.** (1987) "Analysis on shear walls reinforced with fibres", IABSE symp. on Safety and Quality Assurance of Civ. Engrg. Struct., Int. Assoc. For Bridge and Struct. Engrg., Lisboa, Portugal.
- Chen, J. F.** (2001) "Load-bearing capacity masonry arch bridges strengthened with fiber reinforced polymer composites", Advances in Structural Engineering 5 (1), pp. 37-44.
- DaPorto, F., Valluzzi, M. R., Modena, C.** (2003) "Performance assesment of different consolidation techniques for multi-leaf stone masonry walls", actas de ICPCM- A new era of building, El Cairo.
- De Mingo, S. M., Jiménez, J.P., Alonso, M.D.G y Hombrados, C.L.** (2001) "Bond of CFRP Strips on Damaged Masonry Structures", actas de Composites in Construction, Portugal, pp. 601-606.

**Desiderio, P.** (2001) "Inspection of bonded FRP system for strengthening masonry structures", actas de Composites in Construction, Portugal, pp 733-738, 2001.

**Dhanasekar M., Kleeman, P.W. y Page, A. W.** (1985a) "Biaxial stress-strain relations for brick masonry", J. Struct. Engrg., ASCE, 111(5), 1085-1100.

**Dhanasekar M., Kleeman, P.W. y Page, A. W.** (1985b) "The failure of brick masonry under biaxial stresses", actas de Instn of Civ. Engrs., parte 2, Londres, 79, 295-313.

**Ehsani, M.R.** (1995) "Strengthening of earthquake-damaged masonry structures with composite materials", Non-metallic (FRP) reinforcement for concrete structures, L. Taerwe, ed., pp 680-687.

**Ehsani, M.R., Saadamatesh, H. y Al-Saidy, A.** (1997) "Shear Behavior of URM Retrofitted with FRP Overlays", Journal of Composites for Construction. Febrero, pp. 17-25.

**EN 1052-1** (1999) "Métodos de ensayo para fábricas de albañilería Parte 1: Determinación de la resistencia a compresión". Norma europea.

**EN 1052-3** (2003) Métodos de ensayo para fábricas de albañilería Parte 3: Determinación de la resistencia inicial a cortante. Norma europea.

**EN 196-1** (1996) "Métodos de ensayo de cementos. Parte 1: Determinación de resistencias mecánicas". Norma europea.

**EN- 772-1** (2002) "Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería, parte 1: determinación de la resistencia a compresión. Norma europea.

**ENV 1996-1-1** (1996) "Eurocode 6: Design of masonry structures".

**Eurocodigo 6** (1988) "Common unified rules for masonry structures", reporte EUR 9888 EN.

**Foraboschi, P.** (2001) "Debonding of FRP external reinforcement epoxy-bonded to masonry vaults", actas de Composites in Construction, Portugal, pp. 583-588.

**Foraboschi, P.** (2001) "Strengthening of masonry arch bridges using advanced composite materials", actas de Composites in Construction, Portugal, pp. 577-582.

- Ganz, H. R., y Thurlimann, B.** (1983) "Strength of brick walls under normal force and shear", Proc. 8th Int. Symposium on Load Bearing Brickwork, Londres, pp. 27-29.
- Gergely, J. y Young, D.T.** (2001) "Masonry wall retrofitted with CFRP materials", actas de Composites in Construction, Portugal, pp. 565-569.
- Gilstrap, J.M. y Dolan, C.W.** (1998) "Out-of-plane bending of FRP-reinforced masonry walls", Composites Science and Technology 58, pp. 1277-1284.
- Hall, J.D., Schuman, P.M. y Hamilton, H.R. III.** (2002) "Ductile anchorage for connecting FRP Strengthening of under-reinforced masonry buildings", Journal of Composites for Construction, Febrero, pp. 3-10.
- Hamid, A., A. (1978)**, "Behavior characteristics of concrete masonry", Tesis doctoral presentada en la universidad de McMaster, Hamilton, Canada.
- Hamid, A., A., y Drysdale, R. G.** (1980), "Behavior of brick masonry under combined shearing and compression loading", Actas de 2nd Canadian Masonry Symposium, Ottawa, 51-64.
- Hamilton, H. R. III y Dolan, C. W.** (2001) "Flexural capacity of glass FRP strengthened concrete masonry walls", Journal of Composites for Construction, agosto, pp. 170-178.
- Hamoush, S., McGinley, M. W., Mlakar, P., Scott, D., y Murray, K.** (2001) "Out-of -Plane strengthening of masonry walls with reinforced composites", Journal of Composites for Construction, pp 139-145.
- Hamoush, S., McGinley, M., Mlakar, P. y Terro, M.J.** (2002) "Out of Plane behavior of surface reinforced masonry walls", Construction and Building Materials 16 pp. 341-351, 2002
- Hegemeier, G. A.** (1978) "On the behavior of joints in concrete masonry", actas de North Amer. Masonry Conf., Boulder, Colorado, E.U.A.
- Hilsdorf, H. K.** (1969) "Investigation into the failure mechanism of brick masonry loaded in axial compression", actas de la International Conference on Masonry Structural Systems, Texas. pp- 34-41.
- Hofmann, P., Stockl, S.** (1986) "Tests on the shear-bond behaviour in the bed-joints of masonry" Masonry International, 9, 1-15.
- Holberg, A.M. y Hamilton, H.R. III.** (2002) "Strengthening URM with GFRP Composites and ductil connections", Earthquake Spectra, 18 (1), pp. 63-84.



- Kiang Hwee Tan y Patoary, M. K. H.** (2004) "Strengthening of masonry walls against out-of-plane loads using fiber-reinforced polymer reinforcement.
- Kiss, R. M., Kollar, L. P., y Jai, J.** (2002) "Masonry Strengthened with FRP Subjected to Combined Bending and Compression, Parte II: Test results and model predictions", *Journal of Composites Materials* 26 (05), pp. 1049-1063.
- Kusik, M.D., Cheng, R.J.J. y Elwi, A.E.** (1999) "Full-scale out-of-plane cyclic tests of masonry walls with external GFRP sheets", actas del 8th North American Masonry Conference, Austin, EUA.
- Kusik, M.D., Elwi, A.E. y Cheng, R.J.J.** (2001) "Numerical model for flexure response of masonry walls reinforced with GFRP sheets", actas del 9th Canadian Masonry Symposium, Fredericton, Canada.
- Kusik, M.D., Elwi, A.E. y Cheng, R.J.J.** (2003) "Cyclic flexure tests of masonry walls reinforced with GFRP sheets", *Journal of composites for construction*, 7, p. 20.
- Kuzik, M. D, Elwi, A. E., y Roger Cheng, J. J.** (2003) "Cyclic flexure tests of masonry walls reinforced with glass fiber reinforced polymer sheets", *Journal of Composites for Construction*, Febrero, p. 20.
- Laursen, P. T., Seible, F., Hegemier, G. A., y Innamorato, D.** (1995) "Seismic retrofit and repair of masonry walls with carbon overlays", *Non-metallic (FRP) reinforcement for concrete structures*, L. Taerwe ed., 616-623.
- Li, T., Silva, P. F., Belarbi, A., Nanni, A., y Myers, J. J.** (2001) "Retrofit of infill masonry walls with FRP", *Composites in Construction*, Porto, Portugal.
- Lissel, S. L. y Gayevoy, A.** (2003) "The use of FRPs in masonry: a state of the art review", actas de ICPCM - A New Era of Building, El Cairo, Egipto.
- Lissel, S. L. Y Shrive, N. G.** (2001) "Glass fiber reinforced polymer (GFRP) shear connectors for masonry", actas del 9th Canadian Masonry Symposium, Fredericton, Canada.
- Lissel, S.L., Shrive, N.G. y Page, A.W.** (2000)a "Shear in plain, bed joint reinforced, and post-tensioned masonry", *Canadian Journal of Civil Engineering* 27 (5), pp. 1021-1030.
- Lissel, S.L., Simudic, G., Page, A. W. y Shrive, N.G.** (2000)b "Improving the shear resistance of masonry", actas del 12th Int'l Brick/Block Masonry Conference, Madrid, pp. 1075-1084.
- Lissel, S.L., Tilleman, D., Sayed Ahmed, E.Y., y Shrive, N.G.** (1999) "Testing of a diaphragm wall postensioned with carbon fiber reinforced polymers (CFRP)", actas 8th NAMC, Austin, USA.

**Lourenço, P.B. y Martins, J.P.** (2001) "Strengthening of the architectural heritage with composite materials", *actas de Composites in Construction, Portugal*, pp. 571-576.

**Lourenço, P.B. y Ramos L. F.** (2004) "Characterization of cyclic behavior of dry masonry joints", *Journal of structural engineering*, vol. 130, No. 5, pp. 779-786.

**Luciano, R. y Sacco, E.** (1998) "Damage of masonry panels reinforced by FRP sheets", *Int. J. Solid Structures* 35 (15) pp. 1723-1741.

**Manzouri, T., Schuller, M. P., Benson, P. S., Eeri M., y Amadei, B.** (1996) "Repair and retrofit of unreinforced masonry structures", *Earthquake spectra*, Vol. 12, pp. 903-922.

**McNary, W. S., y Abrams, D. P.** (1985) "Mechanics of masonry in compression", *Journal of Structural Engineering*, Vol. 111, No. 4. Pp. 857-870.

**Meier, U.** (1987) "Bridge repair with high performance composite materials". *Material and Technik* 4, 125-128.

**Meli, R.** (1973) "Behavior of masonry walls under lateral loads", *actas de 5th World Congress on Earthquake Engrg.*, pp. 853-862.

**Modena, C., Valdemarca, M., Valluzzi, M. R.** (1999), "Volte murarie rinforzate mediante FRP", *L'Edilizia*, 5/9, pp. 26-32.

**Molins, B. C.,** (1996) "Un modelo para el análisis del comportamiento resistente de construcciones de obra de fábrica", *Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña.*

**Mosallam, A., S., Haroun, M., Almusallam, T., y Faraig, S.** (2001) "Experimental investigation on the out-of-plane response of unreinforced brick walls retrofitted with FRP composites", *46<sup>th</sup> International SAMPE Symposium*, pp. 1364-1369.

**Mosallam, A., S., y Haroun, M.** (2003) "Seismic strengthening of unreinforced thick masonry walls using polymer composites", *actas de 10th Structural Faults and Repair Conference, Londres, Inglaterra.*

**MPA** (1987) "Bonding of steel and GFRP plates in the area of coupling joints", *Talbrucke Hattenbusch. Federal Institute for Materials Testing, Braunschweig, Res. Reporte No. 3126/1229.*

**Naraine, K y Sinha S.** (1989) "Behavior of brick masonry under cyclic compressive loading". *Journal of Construction Engineering*, Vol. 115, No. 2, Jun., pp 1432-1445.

**Naraine, K y Sinha S.** (1991) "Cyclic behavior of brick masonry under biaxial compression". Journal of Structural Engineering, Vol. 117, No. 5, May, 1991.

**NBE-FL-90** (2001) "Norma Básica de la Edificación, Muros resistentes de fabrica de ladrillo". Ministerio de Fomento, Madrid: Ministerio de Fomento. Centro de Publicaciones.

**Nuss, L. K., Noland, J. L., y Chinn, J.** (1978) "The parameters influencing shear strength between clay masonry units & mortar", Actas de North Amer. Masonry Conf., Boulder, Colorado, E.U.A.

**P.I.E.T. 70** (1970) "Obras de fábrica", Prescripciones del Instituto Eduardo Torroja, Madrid.

**Page, A. W.** (1980) "A biaxial failure criterion for brick masonry in the tension-tension range" Int. Journal of Masonry Construction. ISSN: 0143-0602. Vol. 1, No. 1, pp. 26-29.

**Page, A. W.** (1981) "The biaxial compressive strength of brick masonry" Proc. Instn of Civ. Engrs, Part 2, Vol. 71, pp. 893-906.

**Page, A. W.** (1983) "The strength of brick masonry under biaxial tension compression". Int. Journal of Masonry Construction, ISSN: 0143-0602, Vol. 3, No. 1, pp. 26-31.

**Pascale, G., Bonfiglioli, B., Stratford, T., Manfroni, O.** (2000) "Shear strengthening of masonry panels with GFRP: preliminary experimental results. Actas de Mechanics of masonry structures strengthened with FRP-materials, Venecia, 7-8 Dic., pp- 3417-3433.

**Plecnik, J. M., Amrhein, J. E., Warner, J., Jay, W. H., y Chelapati, C. V.** (1977) "Repair of earthquake damaged concrete masonry systems subjected to static and dynamic loads and elevated temperatures", actas de 6WCEE, volume 7, Nueva Delhi, India, pp. 7-73 - 7-78.

**RILEM** (1994) "Technical Recommendations for Testing and Use of Construction Materials", International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures, Londres.

**Roselund, M.** (1991) "Repair of cracks in unreinforced brick buildings" The Engineer's View, Loma Prieta: Historic Buildings, Earthquake Damage and Seismic Strengthening, California Preservation Foundation, Oakland, CA.

**S.L. Lissel y A. Gayevoy** (2003) "The use of FRPs in masonry: a state of the art review", ICPCM, A New Era of Building, Cairo, Egipto.

**Saadatmanesh, H.** (1994) "Fiber composites for new and existing structures", ACI Struct. J., 91(3), pp 346-354.

- Samarashinghe W., Hendry, A. W.** (1980) "The strength of brickwork under biaxial tensile and compressive stress" Proc. 7th Int. Symposium on Load Bearing Brickwork, Londres.
- Sánchez, F. D.** (2001) "Determinación experimental de la envolvente de rotura biaxial en muros de obra de fábrica", Tesina de especialidad, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña.
- Sayed-Ahmed, E.Y. y Shrive, N.G.** (1998) "CFRP post-tensioned masonry diaphragm walls", actas de Annual Conference of the CSCE, Halifax, Canada, pp. 571-582.
- Schwegler, G.** (1994a) "Strengthening of masonry with fiber composites" PhD thesis, Federal Institute of Technology, Zurich, Suiza.
- Schwegler, G.** (1994b) "Masonry construction strengthened with fiber composites in seismically endangered zones", actas de 10th Europ. Conf. On Earthquake Engrg., A. A. Balkema, Rotterdam, Holanda. pp. 454-458.
- Seible, F.** (1995) "Repair and seismic retest of full-scale reinforced masonry building", Actas de 6th Struct. Faults and Repair., Vol. 3, pp 229-236.
- Sheppard, P., y Tercelj** (1980) "The effect of repair and strengthening methods for masonry walls", actas 7WCEE, Vol. 6, p 225, Estambul, Turquía.
- Shrive, N. G., Masia, M.J. y Lissel, S.L.** (2001) "Strengthening and rehabilitation of masonry using fibre reinforced polymers", Historical Constructions,- actas de The 3th Int'l Seminar, Guimaraes, Portugal. PP-1047-1056.
- Shrive, N. G., y Jessop, E. L.** (1980) "Anisotropy in Extruded Clay Units and Its Effects on Masonry Behavior, "Proceedings, 2nd Canadian Masonry Symposium, Ottawa, Canada, pp. 39-50.
- Shwegler, G., y Kelterborn, P.** (1996) "Earthquake resistance of masonry structures strengthened with fiber composites", actas de 11th World Conf. On Earthquake Engrg., Acapulco, México.
- Sinha, B. P., y Hendry, A. W.** (1969) "Racking tests on storey-height shear wall structures with openings, subjected to precompression", actas de Int. Conf. On Masonry Struct. Systems, Univ. of Texas, Austin, E.U.A., pp. 192-199.
- Smith, B. S., y Carter, C.** (1971) "Hypothesis for shear failure of brickwork", Journal of Structural Division, actas de American Society of Civil Engineers, pp- 1055-1062.
- Standards Association of Australia** (1974) Brickwork code. Standards Association of Australia, Sydney, AS1640.

- Straka, V.** (2002) "Performance of Glass Fiber Reinforced Composites Masonry Ties", actas de 6th International Masonry Conference, Londres, Reino Unido, pp. 441-450.
- Sweidan, R. I.** (1991) "The application of fiber reinforced plastics to the strengthening of masonry structures", MS Thesis, Dept. of Civil and Envir. Engrg., Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, E.U.A.
- Tomasevic, M. et al.** (1996) "Seismic behavior of masonry walls: experimental simulation", Journal of structural engineering, sep. Pp. 1040-1047.
- Tomasevic, M., Lutman, M., Petkovic, L.** (1993) "In plane behavior of unreinforced masonry walls subjected to cyclic lateral loads", Report to the Ministry of Science and Technology of Republic of Slovenia, Partes 1 y 2, Liubljana, Eslovenia.
- Triantafillou, T. C., y Fardis, M.N.** (1993) "Advanced composites for strengthening historic structures", IABSE symp. On Struct., Preservation of the Architectural Heritage, Int. Assoc. for Bridge and Struct. Engrg., Lisboa, Portugal, pp. 541-548.
- Triantafillou, T.C.** (1998)a "Composites: a new possibility for the shear strengthening of the concrete, masonry and wood", Composites Science and Technology 58, pp. 1285-1295.
- Triantafillou, T.C.** (1998)b "Strengthening of Masonry Structures Using Epoxy-Bonded FRP Laminates". Journal of Composites for Construction 2 (2), pp. 96-104.
- Tumialan J. G. y Nanni A.** (2002) "Strengthening of masonry walls with FRP bars" Composites fabricator magazine.
- Valluzzi, M.R., Modena, C., y Marchetti, M.** (2000) "Shear strengthening of masonry panels using FRP". actas del 12th Int'l Brick/Block Masonry Conference, Madrid, pp. 1297-1307.
- Van der Pluijm, R.** (1993) "Shear behaviour of bed joints" actas de The sixth north american masonry conference, Philadelphia, pp. 125-136.
- Warner, J.** (1973) "Restoration of earthquake damaged concrete and masonry", actas de The fifth world conference on earthquake engineering, Roma, Italia, pp. 882-885.
- Warner, J.** (1974) "Ventura City Hall Restoration", ASCE Annual and National Environmental Engineering Convention, preimpresión No. 2366, Kansas, Missouri.
- Yokel, Y. F., y Fattal, S. G.** (1976) "Failure hypothesis for masonry shear walls", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 102, No. ST3, pp. 515-532.



**A N E J O**

**I**

**M A T E R I A L E S D E R E P A R A C I Ó N Y  
R E F U E R Z O U T I L I Z A D O S**





## I.I. SÍNTESIS

En éste documento anejo se despliegan datos técnicos de los materiales utilizados en los tratamientos de reparación y refuerzo de paneles y probetas. La información fue extraída de los prontuarios, guías y catálogos impresos, suministrados por el fabricante; y en algunos casos de páginas electrónicas consultadas en la red internet. En cualquier caso se mencionan las fuentes.

El listado de productos y sus características se muestran conforme al mismo orden secuencial de realización de las campañas experimentales.

## I.II. MATERIALES UTILIZADOS PARA REPARACIÓN DE LOS PANELES (campaña experimental de rotura de paneles reparados con inyección de resina, restitución parcial y relleno de cavidades con mortero, descrita en los subapartados 3.2., 4.2 y 5.2)

### I.II.a. Mortero tixotrópico base cemento

Hoja de Datos de Producto

Edición 1, 2005

Identificación n.º 4.2.2.

Versión n.º 1

Sika Top® 122 Mortero de Reparación  
Mortero tixotrópico de dos componentes, listo para su empleo, a base de cemento, resinas sintéticas, humo de sílice y reforzado con fibras

Descripción: Producto de dos componentes, a base de cemento, mejorado con resinas sintéticas, humo de sílice y fibras de poliamida; de altas resistencias mecánicas, especialmente indicado para la reparación y regularización de elementos de hormigón.

Usos: Se utiliza como mortero de reparación sobre soportes de hormigón, mortero o piedra artificial en:

- Reparación de estructuras de hormigón armado.
- Puentes.
- Galerías, depósitos, piscinas, canales.
- Reparación de aristas en balcones, molduras, cornisas, juntas, etc.
- Relleno de coqueras y nidos de grava en muros, vigas o pilares de hormigón.
- Ejecución de recrecidos.

- Protección de armaduras.
- Juntas de albañilería

Ventajas:

- Fácil mezclado y puesta en obra.
- Predosificado y listo para su empleo.
- Muy buena adherencia a la mayoría de los soportes: hormigón, mortero, piedra, ladrillo.
- Impermeable al agua. Permeable al vapor de agua.
- Reforzado con fibra de poliamida.
- Altas resistencias mecánicas.
- Buena resistencia a los ciclos hielo-deshielo y a las sales de deshielo.
- Buena resistencia a la abrasión.
- No es corrosivo, inflamable ni tóxico.

Datos del producto:

Color: Gris.

Condiciones de almacenamiento: En lugar seco y fresco. Proteger el comp. A de las heladas y el comp. B de la humedad.

Conservación: 6 meses desde su fecha de fabricación, en sus envases de origen bien cerrados y no deteriorados.

Presentación: Lotes predosificados de 13 y 28 kg.

Datos técnicos:

Tipo: Mortero de cemento mejorado con resinas sintéticas y fibras.

Densidad (a 20 °C): Aprox. 2,2 kg/l de mortero fresco.

Espesor de capa: Mín.: 5mm / máx.: 20 mm.

Granulometría: 0-2 mm.

Tiempo de manejabilidad (a 20 °C): Aprox. 30-40 minutos.

Proporciones de mezcla en peso: Comp. A:B = 1,0: 6,2.

Adherencia al hormigón: Aprox.2-2,5 N/mm<sup>2</sup>.

Resistencias mecánicas: Compresión: 50-60 N/mm<sup>2</sup>.

UNE (80.101-88): Flexotracción: 9-12 N/mm<sup>2</sup>.

Absorción de agua: 24 horas 5,4%.

72 horas 5,9 %.

120 horas 6,1 %.

168 horas 6,3 %.

Resistencia a los ciclos: (500 ciclos: -20 °C / +20 °C) de hielo-deshielo sin alteraciones.

Módulo de elasticidad Aprox. 18.000 N/mm<sup>2</sup>.

Temperatura de aplicación Mín. 8 °C.

Detalles de aplicación:

Consumo: Aproximadamente 2,2 kg/m<sup>2</sup> y mm de espesor.

Preparación del soporte: En todos los casos los soportes deberán estar sanos, limpios, exentos de partes sueltas, grasas, aceites, pinturas y lechadas superficiales

En el caso de que existan armaduras oxidadas se procederá a su limpieza mediante chorro de arena, grado Sa 2 1/2, Norma SIS 055900 o mediante cepillo de púas metálicas, grado St 3, antes de la aplicación de dos manos de Sika Top Armatec 110 EpoCem como revestimiento anticorrosión.

Los soportes absorbentes se humedecerán previamente hasta la saturación, evitándose el encharcamiento y comenzándose a aplicar el Sika Top 122 Mortero de Reparación cuando las superficies adquieran aspecto mate.

Mezclado: Se utilizará preferiblemente una batidora eléctrica de baja velocidad. En un recipiente adecuado, de boca y fondo anchos, verter progresivamente sobre el componente A (líquido) la totalidad del componente B (polvo), batiendo durante 2 ó 3 minutos hasta conseguir una masa homogénea.

Modo de empleo: Se aplicará siguiendo los

métodos tradicionales con llana, paleta o paletín.

Mientras el soporte esté todavía húmedo aplicar el mortero. En grandes reparaciones se recomienda utilizar como capa de adherencia una mezcla de los componentes A y B en proporciones aprox. A = 1 y B = 3 (partes en volumen), o Sika Top Armatec 110 EpoCem como capa de adherencia.

La terminación superficial podrá hacerse con fratás de madera, esponja o con poliestireno expandido a partir del momento en que el mortero comience a fraguar.

Curado: Es importante prevenir una desecación excesivamente rápida de la superficie del mortero de reparación para lo cual se mantendrá la superficie protegida con láminas de polietileno, arpilleras mojadas o aplicando el producto de curado Antisol. Se extremarán las medidas de curado cuando las condiciones climatológicas lo requieran (baja humedad relativa del aire, viento, sol).  
Limpieza de herramientas: Los útiles y herramientas se limpiarán con agua inmediatamente después de su empleo.

El Sika Top 122 Mortero de Reparación endurecido solamente puede eliminarse por medios mecánicos.

Indicaciones importantes: No se aconseja mezclar cantidades superiores a las que se puedan colocar durante 30-40 minutos

- Es necesario proteger el Sika Top 122 Mortero de Reparación contra la lluvia y las heladas durante las primeras horas.
- La temperatura mínima de aplicación del soporte y del ambiente será de +8 °C.
- No se puede añadir agua al Sika Top 122 Mortero de Reparación.
- Para cualquier aclaración rogamos consulten con nuestro Departamento Técnico

Instrucciones de seguridad

Precauciones: Puede provocar irritaciones en caso de salpicaduras a los ojos o sobre la piel. Por ello, se recomienda llevar gafas y ropa protectora durante el amasado y la colocación en obra.

En caso de salpicaduras a los ojos, nariz, boca o garganta lavar con abundante agua y consultar con un médico lo antes posible.  
 Ecología: No permitir el paso al alcantarillado, cursos de agua o terrenos.  
 Transporte: Mercancía no peligrosa.  
 Toxicidad: Irrita las vías respiratorias y la piel.

---

**I.II.b. Mortero tixotrópico base epoxi**

Hoja de Datos de Producto

Edición 1, 2005

Identificación n.º 7.1.1.

Versión n.º 1

Sikadur® 31

Adhesivo tixotrópico a base de resinas epoxi, de dos componentes

Descripción: Producto de dos componentes a base de resinas epoxi y cargas especiales, que no contiene disolventes. Su consistencia pastosa permite una aplicación fácil y variada.

Usos: Adhesivo rígido de altas prestaciones sobre los siguientes soportes:

- Hormigón, mortero.
- Piedra natural o artificial.
- Hierro, aluminio.
- Madera, paneles de aglomerado.
- Fibrocemento.
- Poliéster, epoxi.
- Cristal.

-Unión por adhesión de juntas estrechas.

-Pegado de diferentes elementos entre ellos.

-Masa para espatular en vertical o en techos:

- Relleno de agujeros.
- Corrección de dimensiones.
- Capas espatuladas para recibir posteriores revestimientos.

-Reparaciones puntuales en el hormigón (aristas, coqueras, etc.)

-Capas de regularización y contra la abrasión.

-Anclaje de armaduras en el hormigón(para este uso ver también el Sika Anchor-Fix 1, 2 y 3).

Ventajas:

- Es fácil de aplicar, sobre soporte seco o húmedo.
- Muy buena adherencia a la mayoría de los materiales de construcción:

hormigón, mortero, piedra, ladrillo, fibrocemento, aceros y metales, cristal, etc.

- Impermeable a los líquidos y al vapor de agua.
- Buenas resistencias a ataques químicos, a temperatura ambiente de: ácidos diluidos, bases, sales y salmueras, aguas muy puras, aguas residuales, aceites y carburantes.
- No contiene disolventes.
- Endurece sin retracción.
- Los componentes son de distinto color, facilitando así el control de mezclado.
- No necesita imprimación.
- Altas resistencias mecánicas iniciales y finales.
- Buena resistencia a la abrasión.
- Gracias a su consistencia tixotrópica permite compensar las tolerancias en las dimensiones de las piezas a unir, así como trabajar sobre superficies verticales o en techo.
- Se suministra en dos tipos: Normal y Rápido, según el tiempo de vida de la mezcla velocidades de curado.

Datos del producto:

Color: Gris; (Comp. A: Blanco, Comp. B: Gris oscuro).

Conservación: 18 meses desde su fecha de fabricación en sus envases de origen bien cerrados y no deteriorados.

Condiciones de almacenamiento: En lugar seco y fresco En lugar fresco y seco, a temperaturas comprendidas entre +5 °C y +25 °C.

Presentación: Lotes predosificados de 1,2 kg, 6 kg y 15 kg el tipo normal y de 1 kg el tipo rápido.

Datos técnicos:

Tipo: Resina epoxi de dos componentes.

Densidad: De la mezcla fresca aprox. 1,6 kg/l. Proporciones de mezcla, Componente A = 3 partes en peso Componente B = 1 (Normal o Rápido).

Vida de la mezcla: ( a 20 °C) Normal: Aprox. 40-45 minutos.

Rápido: Aprox. 15-30 minutos.

Resistencias mecánicas A compresión: Aprox. 600-700 kg/cm2.

A flexión: Aprox. 300-400 kg/cm<sup>2</sup>.  
 A tracción: Aprox. 150-200 kg/cm<sup>2</sup>.  
 Resistencia a compresión 450 - 500 kg/cm<sup>2</sup>.  
 después de 1 día a +20 °C  
 Adherencia sobre hormigón:  $\geq 35$  kg/cm<sup>2</sup>.  
 Rompe el hormigón.  
 Adherencia sobre acero: Aprox. 150 kg/cm<sup>2</sup>  
 (20 °C, 10 días. 65 % H.R.).  
 Módulo de elasticidad: 43.000 kg/cm<sup>2</sup>.  
 Coeficiente de dilatación térmica:  $50 \times 10^{-6}$   
 por °C.  
 Temperatura de aplicación: Tipo Normal:  
 +10 °C a +30 °C.  
 Tipo Rápido: +5 °C a +15 °C.

Detalles de aplicación:

Consumos Aprox.: 1,6 kg/m<sup>2</sup>, por mm de  
 espesor.  
 Preparación del soporte (*sobre Hormigón,  
 piedra, mortero, enfoscados*):  
 Las superficies deberán estar limpias, secas o  
 ligeramente húmedas, exentas de  
 grasa, aceite, partes sueltas o mal adheridas,  
 lechadas superficiales, pinturas y  
 restos de otros oficios. El hormigón sobre el  
 que se aplique debe tener una edad  
 de 3 a 6 semanas como mínimo, dependiendo  
 del clima.  
 (*Acero*): Las superficies deberán estar  
 exentas de grasa, aceite, óxido, calamina y  
 cualquier  
 sustancia que venga en detrimento de la  
 adherencia. Es necesario evitar la  
 condensación del agua (atención al punto de  
 rocío).  
 (*Poliéster, epoxi, cristal, cerámica*)  
 Las superficies deben estar exentas de trazas  
 de aceite o grasa. El poliéster y la epoxi  
 se deben lijar minuciosamente. Al cristal y la  
 cerámica se les debe dar rugosidad  
 mediante chorreado. La aplicación sobre  
 superficies siliconadas no es posible.  
 Mezclado: Mezclar completamente los dos  
 componentes con una batidora eléctrica de  
 baja velocidad (máx. 600 rpm), al menos  
 durante dos minutos, hasta conseguir una  
 pasta totalmente homogénea y de color gris.  
 Modo de empleo: Cuando se emplee como  
 pegamento en capas de poco espesor, se  
 aplicará con espátula, llana, llana dentada,  
 paletín (o con las manos enguantadas).  
 Si se utiliza como material de reparación se  
 considerará la necesidad de disponer un

encofrado. El espesor máximo en una sola  
 capa no será superior a 30 mm.  
 Después de aplicado para el pegado de  
 perfiles metálicos en superficies verticales o  
 techos, es necesario presionar uniformemente  
 dichos perfiles sobre el soporte mediante  
 puntales o gatos, durante 12 horas como  
 mínimo, en función del espesor de la capa  
 aplicada que no será superior a 5 mm y de la  
 temperatura ambiente.  
 Una vez endurecido será necesario  
 comprobar la correcta adherencia mediante  
 martillo.  
 Limpieza de herramientas: Los útiles y  
 herramientas se limpiarán inmediatamente  
 después de su empleo con  
 Sika Colma Limpiador, pues una vez  
 endurecido, sólo puede ser eliminado por  
 medios mecánicos.

Indicaciones importantes: A medida que la  
 temperatura aumenta, se acorta la vida de la  
 mezcla y viceversa.

A veces las necesidades de trabajo obligan a  
 utilizar varios lotes uno detrás de otro.  
 Se recomienda no mezclar el siguiente lote  
 hasta no acabar el anterior para no reducir  
 el tiempo de manejabilidad.  
 Las resinas epoxi pueden afectar a la piel. Se  
 aconseja, por tanto, utilizar guantes de  
 goma durante la manipulación.

Instrucciones de seguridad

Precauciones: No contiene disolventes por lo  
 que no es necesario tomar medidas especiales  
 para su manipulación.  
 Sin embargo, debe evitarse el contacto con la  
 piel y mucosas como es práctica generalizada  
 al trabajar con resinas epoxi y polisulfuros.  
 Utilizar guantes y gafas.  
 En caso de contacto con los ojos lavarlos con  
 abundante agua limpia y acudir a un  
 médico lo antes posible.  
 Para medidas más específicas, consultar con  
 la Hoja de Seguridad del producto.  
 Ecología *Componente A*: El producto es  
 contaminante del agua.  
 No permitir el paso al alcantarillado, cursos  
 de agua o terrenos.  
 De acuerdo con las informaciones sobre las  
 sustancias perjudiciales para el medio  
 ambiente,  
 no puede excluirse el riesgo correspondiente  
 del producto.

*Componente B:* No permitir el paso al alcantarillado, cursos de agua o terrenos.  
 Transporte *Componente A:* N.º ONU:UN-3077.  
 Clase: 9.  
 Código/Embalaje: M7/III.  
*Componente B:* N.º ONU:UN-1759.  
 Clase: 8.  
 Código/Embalaje: C10/III.  
 Toxicidad Consultar etiqueta en el envase.

### I.II.c Resina epoxi de inyección

Hoja de Datos de Producto

Edición 1, 2005

Identificación n.º 10.2.1.

Versión n.º 1

Sikadur® 52 Inyección

Resina epoxi para inyecciones, de dos componentes y baja viscosidad

Descripción Producto líquido de dos componentes, a base de resinas epoxi, de altas resistencias, de producto muy fluido y sin disolventes. Una vez endurecido es un material rígido con altas resistencias mecánicas.

Usos *Se utiliza para la inyección de fisuras y grietas estructurales con el objeto de devolverle*

*el monolitismo inicial:*

- Tratamiento de fisuras inertes.
- Consolidación de fisuras estructurales en:
  - ~ Vigas.
  - ~ Pilares.
  - ~ Losas.
  - ~ Puentes.
  - ~ Forjados.
  - ~ Depósitos de agua.
  - ~ Canales, etc.
- Inyección de microfisuras de retracción.
- Consolidación de elementos mal adheridos, etc.

Ventajas: Es un líquido sumamente penetrante y adhesivo que tiene las siguientes propiedades:

- No contiene disolventes.
- Muy buena adherencia sobre la

mayoría de los soportes: hormigón, mortero, piedra, ladrillo, fibrocemento, acero, metales, etc.

- Excelente poder de humectación, lo que permite penetrar hasta en los intersticios más finos.
- Es impermeable a los líquidos y al vapor de agua.
- Tiene altas resistencias mecánicas.
- Endurece sin retracción.
- Baja viscosidad.
- Elevada adherencia.
- Se puede utilizar para el relleno de fisuras secas o ligeramente húmedas.
- Utilizable a bajas temperaturas.
- No es corrosivo.
- No es quebradizo ni frágil, teniendo una considerable dureza.

Datos del Producto:

Color: Amarillo transparente.

Presentación: Lotes predosificados de 1 kg.

Condiciones de almacenamiento: En lugar seco y a temperaturas comprendidas entre +5 °C y +40 °C.

1 Sikadur® 52 Inyección 1/5

Conservación: 1 año desde su fecha de fabricación en sus envases de origen bien cerrados y no deteriorados.

Datos Técnicos:

Base química: Resina epoxi de dos componentes.

Densidad Aprox.: 1,09 kg/l.

Vida de mezcla: (a 20 °C) Aprox. 50-90 minutos.

Proporciones de mezcla en peso:

Componente A =2 partes Componente B = 1 parte.

Resistencias mecánicas:

A compresión: Aprox. 700-900 kg/cm<sup>2</sup>.

Adherencia por tracción A hormigón: > 30 kg/cm<sup>2</sup> (rompe el hormigón).

(tras 10 días a 20 °C) A acero: aprox. 100 kg/cm<sup>2</sup> (previo chorreado).

Módulo de elasticidad

a flexión (UNE 53022-76) Aprox. 2365 kg/cm<sup>2</sup>.

Información del sistema

Detalles de aplicación

Preparación de las fisuras Las fisuras a tratar deberán sanearse y posteriormente soplarse con aire comprimido limpio, pudiendo estar secas o ligeramente humedecidas, pero sin filtraciones o encharcamiento de agua.

En caso de fisuras en planos horizontales, de por lo menos 0,2 mm de anchura, se debe colocar a ambos lados de la fisura una pequeña barrera con masilla, yeso o cualquier material

fácilmente eliminable, con el fin de guiar el Sikadur 52 Inyección aplicado por vertido.

El relleno y sellado de fisuras, en paramentos verticales, fisuras profundas o pasantes, se hará utilizando pequeños tubos inyectoros, colocados espaciadamente a lo largo de la grieta o fisura, fijados con Sikadur 31, y en caso de que atraviese totalmente el elemento de hormigón por ambas caras. Para poder realizar la inyección que se hará siempre de abajo a arriba, es necesario que el Sikadur 31 esté endurecido.

Para que pueda realizarse la inyección sin contrapresión, es preciso soplar todos los tubos, unos tras otros, con aire comprimido, en un orden ascendente.

Condiciones y límites de aplicación

Temperatura del soporte/aplicación Min. +5 °C.

Instrucciones de Existen varios métodos de aplicación, los cuales requieren diferentes equipos, según aplicación la naturaleza del trabajo a realizar.

No introducir el tubito ni el adhesivo hasta el fondo del orificio.

Mezclado El Sikadur 52 Inyección es un producto de dos componentes, predosificados.

Utilizando una batidora eléctrica de baja velocidad (600 r.p.m.) se homogeneizan primero los dos componentes por separado. A continuación se vierte el componente B en el recipiente del componente A y se baten hasta conseguir una masa totalmente homogénea. También se puede realizar el mezclado manualmente.

Los componentes A y B deben estar a una temperatura comprendida entre +10 °C y +20 °C en el momento de realizar el mezclado.

Materiales y herramientas de aplicación

- ~ Taladradora eléctrica con agitador, brocas adecuadas para perforar en cada caso hormigón, piedra, etc.
- ~ Brochas, rodillos para cuando se utiliza como imprimación.
- ~ Masilla o yeso para formar un reborde alrededor de las fisuras en planos horizontales, el cual se utilizará asimismo para el sellado superficial de la grieta o fisura en toda su longitud y por todas las caras posibles cuando atraviesen totalmente el elemento de hormigón.
- ~ Tubitos inyectoros de cobre, latón, aluminio o cualquier otro metal blando, de aprox.5 cm de longitud y 5 mm de diámetro interior. Sikadur 31 para fijar los tubitos y sellarlas fisuras.
- ~ Tubos de plástico flexibles y transparentes para acoplar a los inyectoros metálicos.
- ~ Alambre para la sujeción de estos «macarrones» a los tubos y para su atado después de doblados una vez realizada la inyección.
- ~ Aparato para la inyección mediante aire comprimido. Para pequeños trabajos se pueden utilizar pistolas manuales de sellado.
- ~ Guantes, gafas, cuchillo, tijeras, etc.
- ~ Sika Colma Limpiador.

Aplicación como imprimación:

Como imprimación, el Sikadur 52 Inyección se aplica con brocha o rodillo, hasta aturación del soporte poroso.

*Fisuras en planos horizontales:*

Se coloca por vertido directo desde el recipiente donde se ha efectuado la mezcla, colando el material simplemente por gravedad. Previamente se colocarán unas barreras de masilla, u otro material fácilmente eliminable, para que no se extienda la resina por toda la superficie.

*Inyección de fisuras en planos verticales:*

El relleno de fisuras situadas en planos verticales se hace a presión con un equipo de inyección a través de unos tubos de plástico transparente y flexible, acoplados a unos inyectoros metálicos fijados a una

distancia conveniente a lo largo de la fisura. Esta operación deberá ejecutarse siempre de abajo a arriba, manteniendo la presión constante, hasta que el líquido aparezca por el tubo situado en un plano superior. En este momento se estrangula el «macarrón» plástico y se ata con un alambre, continuándose el proceso así sucesivamente.

En todos los casos previamente a la aplicación del Sikadur 52 Inyección se asegurará que no están obstruidos los conductos de inyección ni las propias fisuras, para lo cual se soplará con aire comprimido a través de los tubitos inyectoros metálicos. Cuando el Sikadur 52 Inyección haya endurecido, se quitan los tubitos cortándolos con una radial o con tijeras adecuadas. Si es necesario eliminar el Sikadur 31 se empleará un disco abrasivo o llama directa. Limpieza de herramientas Los útiles y herramientas se limpiarán inmediatamente después de su empleo con Sika Colma Limpiador. Una vez endurecido, el Sikadur 52 Inyección sólo puede eliminarse por medios mecánicos. Notas de La edad mínima del hormigón deberá ser de 3 a 4 semanas.

#### Aplicación/límites:

El ancho máximo de las fisuras a inyectar será de 5 mm.  
 En tiempo caluroso es aconsejable que los componentes del Sikadur 52 Inyección estén a una temperatura no superior a +20° C, para lo cual deben almacenarse en condiciones adecuadas o en caso necesario enfriarlo con hielo o con agua previamente a su mezclado.  
 No deben mezclarse cantidades superiores a las que puedan utilizarse dentro de la vida de mezcla del producto.  
 Las inyecciones con resinas reactivas exigen la intervención de especialistas cualificados y expertos.

#### Medidas de protección:

No respirar los vapores.  
 Evitar el contacto con los ojos y la piel.  
 Prever una ventilación suficiente o escape de gases en el área de trabajo.  
 No fumar, ni comer o beber durante el trabajo.

Lavarse las manos antes de los descansos y después del trabajo.  
 Protección preventiva de la piel con pomada protectora.  
 Quitarse inmediatamente la ropa manchada o empapada.  
 En caso de ventilación insuficiente utilizar mascarera de protección para polvos con filtro para vapor tipo A.  
 Protección de las manos con guantes de plástico.  
 Protección de los ojos con gafas protectoras herméticamente cerradas.  
 Protección corporal con ropa protectora.  
 En caso de contacto con los ojos lavarlos con abundante agua limpia y acudir inmediatamente a un médico.  
 Ecología Componente A: El producto es contaminante del agua. No permitir el paso al alcantarillado, cursos de agua o terrenos.  
 Componente B: No permitir el paso al alcantarillado, curso de agua o terrenos.  
 Toxicidad *Componente A*: Irritante ( Xi). Peligroso para el medio ambiente (N). Irrita los ojos y la piel. Tóxico para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.

Componente B: Corrosivo (C). Peligroso para el medio ambiente (N). Nocivo por inhalación, por ingestión y en contacto con la piel. Nocivo para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.  
 Transporte Componente A: N° ONU:UN-3082  
 Clase: 9  
 Código/Embalaje: M6/III  
 Componente B: N° ONU:UN-2735  
 Clase: 8  
 Código/Embalaje: C7/III  
 Eliminación de residuos *Producto*  
 Observadas las normas en vigor, debe ser tratado en un centro de eliminación de residuos industriales.  
 Envases/Embalajes:

Totalmente vacíos pueden destinarse a reciclaje. Aquellos que no puedan ser limpiados deben ser eliminados de la misma forma que la sustancia contenida.

### I.III. MATERIALES UTILIZADOS PARA REFUERZO DE LAS PROBETAS Y LOS PANELES

(campañas experimentales de rotura de probetas reforzadas con laminados y tejidos CFRP, descrita en los subapartados 3.3., 4.3. y 5.3. y; rotura de paneles reforzados con laminados y tejidos CFRP, descrita en los subapartados 3.4., 4.4. y 5.4.)

#### I.III.a Laminado de fibra de carbono y resina epoxi 3:1

Hoja de Datos de Producto

Edición 1, 2005

Identificación n.º 7.4.1.

Versión n.º 1

Sika® CarboDur

Sistema de refuerzo de estructuras a base de pegado de Laminados Sika CFRP.

Descripción: Sistema de refuerzo de estructuras de hormigón armado, madera y acero, formado por un laminado de gran resistencia a tracción pegado por medio de un adhesivo a base de resina epoxi.

Está constituido por:

- Sikadur 30, adhesivo de resina epoxi para pegado del refuerzo.
- Laminados Sika CarboDur S512 (50 mm × 1,2 mm) y Sika CarboDur S812 (80 × mm 1,2 mm), formados por una matriz polimérica de resina epoxi reforzada con fibras de carbono.

EMPA Test Report n.º 154490: Ensayo de la capa de adherencia en los Laminados Sika CFRP pegados a hormigón

Usos: *Refuerzo estructural de elementos de:*

- Hormigón armado
- Madera
- Acero

*Refuerzos debidos a:*

- Incrementos de cargas
- Incremento de cargas de uso
- Aumento de tráfico pesado en puentes.
- Instalación de maquinaria pesada en

edificios industriales.

- Estructuras sometidas a vibraciones.
- Cambios de uso de la estructura.
- Deterioro o daños en la estructura
- Envejecimiento de los materiales de la estructura.
- Corrosión de las armaduras con disminución de secciones útiles.
- Impactos sobre la estructura
- Acción del fuego
- Mejora de las condiciones de servicio
- Disminución de flechas y deformaciones.
- Reducción de esfuerzo en armaduras.
- Disminución del ancho de grietas.
- Cambio del esquema estructural
- Eliminación de muros o columnas.
- Apertura de huecos en forjados para instalación de ascensores, escaleras.
- Defectos de proyecto o construcción
- Armadura insuficiente.
- Defectos de ejecución.

Ventajas

- Poco peso del material de refuerzo.
- Disponible en cualquier longitud, no requiere juntas.
- Pequeños espesores.
- Transportable en rollos, con poco peso y poco volumen.
- Los Laminados Sika CFRP no necesitan preparación, vienen listos para su empleo.
- Fácil solape y entrecruzamiento entre laminados.
- Económico de aplicar, no necesita equipos ni trabajos pesados.
- Muy altas resistencias.
- Elevados módulos de elasticidad.
- Excelente resistencia a fatiga.
- Puede ser recubierto sin necesidad de preparación.



- Resistente a ataques alcalinos.
- No se corroe.

A: Laminados Sika CFRP

Datos del producto

Color: Negro.

Conservación: Ilimitada (sin exposición directa al sol).

Presentación: En las longitudes deseadas.

Datos técnicos.

Tipo: Matriz de polímeros (resina epoxi) reforzada con fibras de carbono tipo C (Toray T700).

Densidad aparente: Aprox. 1,6 kg/dm<sup>3</sup>.

Dimensiones: *Espesor*: 1,2 mm.

Anchura: 50 mm y 80 mm.

Resistencia a tracción: 2800 N/mm<sup>2</sup> (\*).

Módulo de elasticidad: 165000 N/mm<sup>2</sup> (\*).

Alargamiento de rotura: 1,7% (\*).

Contenido volumétrico de fibra: > 68%.

Resistencia térmica: > 500 °C.

Tiempo de manejabilidad:

(a 20 °C) <30 minutos.

(\*). Las propiedades mecánicas corresponden a la dirección longitudinal de la fibra.

B: Sikadur 30

Datos del producto:

Color Comp. A: Blanco.

Comp. B: Negro.

Resistencia a compresión:

(según EN 196)

Evolución de la resistencia a compresión

Comp. (A+B): Gris claro.

Condiciones de almacenamiento:

En lugar fresco y seco +5° y 25 °C.

Conservación: 12 meses, desde su fecha de fabricación en sus envases de origen bien cerrados y no deteriorados.

Presentación: Lotes de 6 kg.

Datos técnicos

Tipo Resina epoxi de dos componentes.

Densidad Aprox. 1,77 kg/l (A+B).

Proporciones de la Comp. A: 3.

mezcla en peso Comp. B: 1.

Vida de la mezcla (F.I.P.\*) 40 minutos (a 35°).

Tiempo abierto (F.I.P.\*) 30 minutos (a 35 °C).

Fluencia: 3 mm - 5 mm (a 35 °C).

Retracción 0,04%.

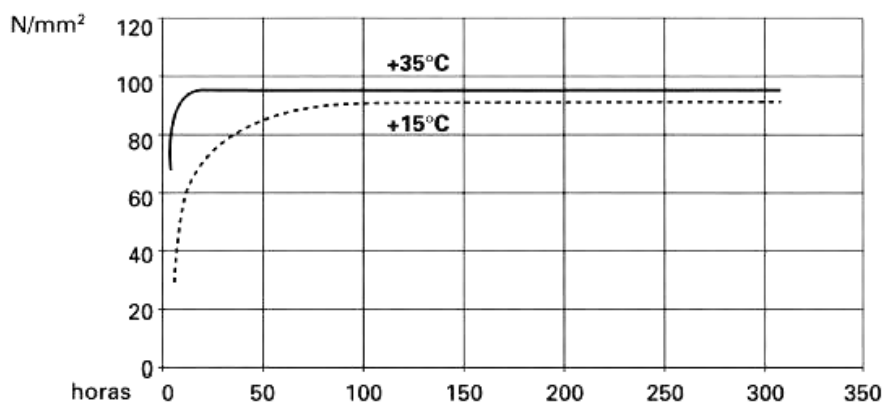
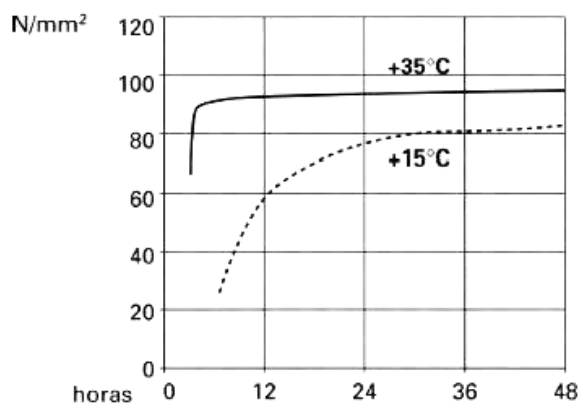
Temperatura detransición vítrea: 62 °C.

Módulo de Elasticidad 12.800 N/mm<sup>2</sup>.

Resistencia a tracción Rotura del hormigón (4 N/mm<sup>2</sup>)

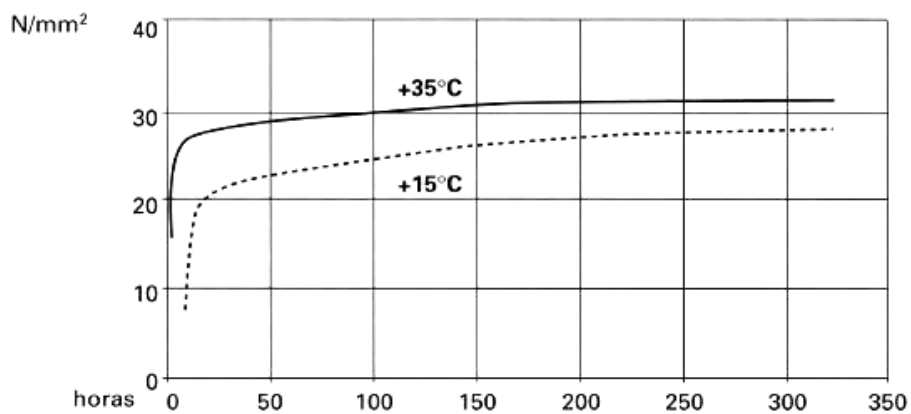
Coefficiente de dilatación térmica: 0,00009 por °C

(\*). Federación Internacional del Pretensado.



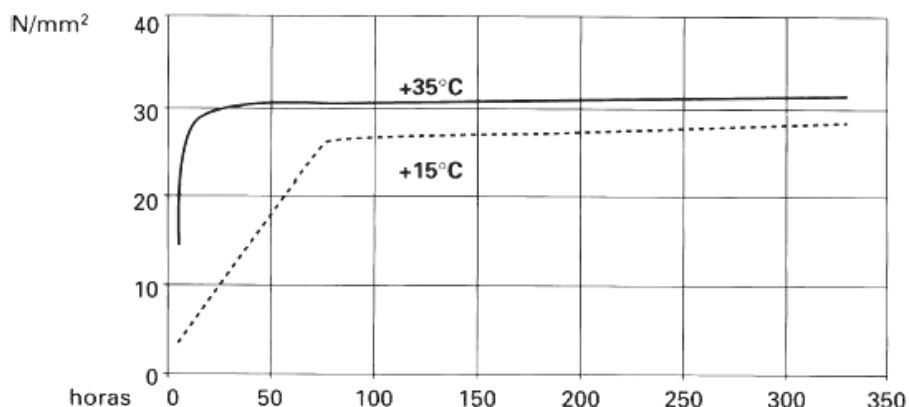
Resistencia a tracción:  
(según DIN 53455)

Evolución de la resistencia a tracción



Resistencia a cizallamiento por tracción :  
(según SIKA)

Evolución de la resistencia a cizallamiento por tracción



Detalles de aplicación:

Consumo: El consumo de Sikadur 30 en el sistema Sika CarboDur es de aprox. 0,4 kg por m. de refuerzo para laminados de 50 mm de anchura y de aprox. 0,5 kg por m. de refuerzo para laminados de 80 mm de anchura.

Preparación del soporte: *Hormigón:* Las superficies deberán estar limpias, secas o ligeramente húmedas y exentas de partes sueltas o mal adheridas, lechadas superficiales, pinturas y restos de otros oficios.

El hormigón de soporte deberá tener como mínimo de 3 a 6 semanas de vida, dependiendo de las condiciones climáticas, y deberá haber adquirido las resistencias exigidas en los anejos de cálculo del refuerzo.

*Madera o acero:* El soporte estará limpio y seco, sin grasas o aceite, sin partículas sueltas. La superficie a cubrir debe estar sin salientes mayores de 0,5 mm. Se debe eliminar el polvo del soporte con máquinas de limpieza industriales, si fuera preciso

Mezclado Mezclar completamente los dos componentes con una batidora eléctrica de baja velocidad (máx. 600 rpm) al menos durante 3 minutos, hasta conseguir una pasta totalmente homogénea y de color gris claro.

Modo de empleo: Si hay grandes defectos o desconchones en la superficie del hormigón, deben ser reparados, previamente, con Sikadur 41 Mortero Aplicar cuidadosamente el Sikadur 30 sobre el soporte con una

espátula formando una capa de 1 mm de espesor. Colocar el Laminado Sika CFRP en una mesa y limpiar su superficie con Sika Colma Limpiador.

Aplicar Sikadur 30 sobre la superficie del laminado con un espesor entre 1 y 2 mm. Dentro del tiempo abierto del adhesivo, colocar el Laminado Sika CFRP sobre la superficie del soporte donde se haya aplicado previamente la resina. Usando un rodillo presionar el laminado hasta que el adhesivo sea forzado a salir por ambas caras del mismo. Retirar el adhesivo sobrante.

La parte vista del laminado puede ser pintada con un material de recubrimiento como el Sikaguard-62 o el Sikagard-550 ES Elastocolor.

Limpieza de herramientas: Los útiles y herramientas se limpiarán inmediatamente después de su empleo con Sika Colma Limpiador, pues una vez endurecido, el Sikadur 30 sólo puede ser eliminado por medios mecánicos.

Indicaciones:

El sistema Sika CarboDur debe ser protegido de la acción directa del sol.

importantes Limpiar manos y piel con jabón y agua caliente.

La temperatura máxima de servicio es 50 °C A medida que la temperatura aumenta, se acorta la vida de la mezcla y viceversa.

Antes de curado, el Sikadur 30, componentes A+B, contamina el agua y no debe ser arrojado en tuberías, desagües, o sobre tierra.

**Instrucciones de seguridad**

Precauciones: Las resinas epoxi pueden afectar a la piel. Aplicar una crema de protección en manos y proteger la piel antes de empezar a trabajar. Utilizar prendas protectoras (guantes y gafas). En caso de contacto con los ojos, lavar con abundante agua limpia y acudir inmediatamente a un médico.

Para medidas más específicas, consultar con la Hoja de Seguridad del producto Ecología Sikadur 30:  
*Componente A:* El producto es contaminante del agua.  
 No permitir el paso al alcantarillado, cursos de agua o terrenos.

De acuerdo con las informaciones sobre las sustancias perjudiciales para el medio ambiente, no puede excluirse el riesgo correspondiente del producto.

*Componente B:* No permitir el paso al alcantarillado, cursos de agua o terrenos.  
 Transporte Sikadur 30:  
 Componente A: N.º ONU:UN-3077.  
 Clase: 9.  
 Código/Embalaje: M7/III.  
 Componente B: N.º ONU:UN-1759.  
 Clase: 8.  
 Código/Embalaje: C10/III.  
 Toxicidad Consultar etiqueta en el envase.

#### **I.IV. MATERIALES UTILIZADOS PARA REFUERZO DE LAS PROBETAS** (campana experimental de rotura de probetas reforzadas con tejidos GFRP y AFRP, madera micro-laminada y baldosas cerámicas, descrita en los subapartados 3.5., 4.5 y 5.5.)

**I.IV.A. Compuestos GFRP y AFRP**

Los dos productos pertenecen a la línea comercial del sistema integral de refuerzo *Mbrace*, que se describe a continuación.

Mbrace HF Página 1 de 4  
 Mbrace Hoja de Fibra FT 2.6.05  
 Fibras de refuerzo de carbono, fibra de vidrio o aramida.

Descripción: La tecnología Mbrace comprende el uso de compuestos con fibras de refuerzo (de carbono, de fibra de vidrio o de aramida) para refuerzo estructural. Se basa en la impregnación y adhesión de la fibra mediante un sistema completo de resinas. Mediante el refuerzo por adhesión de materiales compuestos de elevadas prestaciones se consigue la absorción de tracciones: incrementando la respuesta a flexión, a cortante y confinando elementos comprimidos.

**Campo de aplicación:**

Fibra de carbono

- Refuerzos a tracción en elementos flexionados, sometidos a cortante y confinando a compresión.
- Errores de proyecto o ejecución.
- Mejoras estructurales o modificaciones debidas a cambios de usos o cambios de exigencia en normativas.
- Mejora del control de la fisuración y de la resistencia a impactos y ondas expansivas.
- Trabajos de reparación en general.
- Las aplicaciones más habituales de refuerzos son:  
 Vigas, puentes, losas, columnas y tableros de puentes, estructuras y superficies de aparcamientos, refuerzo de muros, depósitos, silos, chimeneas, túneles, tuberías, etc.

Fibra de vidrio

- Refuerzo antisísmico de pilares, obra de

fábrica, tanques, depósitos, etc.

- Refuerzo de obra de fábrica en edificios históricos.
- Protección contra impactos ligeros.

Fibra de aramida

- Protección contra impactos y explosiones.
- Aplicaciones especiales en refuerzo de pilares prismáticos.

Propiedades:

- Elevada ligereza. No se precisa apuntalamiento del sistema.
- Reducido espesor del sistema.
- Fácilmente aplicable.

Fibras de carbono:

- Elevadas resistencias a tracción.
- Orientación unidireccional.
- Presentación en módulo elástico análogo al acero y en alto módulo.
- Elevada resistencia química.
- Puede cortarse con facilidad con una tijera normal.

Fibra de vidrio:

- Orientación bidireccional.
- Puede cortarse con facilidad con una tijera normal.

Fibra de aramida:

- Orientación unidireccional.
- Elevada resistencia al impacto.

Componentes del sistema:

El sistema de refuerzo MBrace está compuesto por las hojas de fibra específicas en cada caso y además por una serie de productos diseñados para su aplicación.

- MBrace RESIN 50 (Imprimación): para garantizar la adherencia y anclaje del refuerzo con el soporte del elemento a reparar.
- MBrace RESIN 55 (Saturante): para la impregnación y adhesión de la fibra al soporte, mediante la aplicación en dos capas.

Modo de utilización

(a) Soporte: La resina adhesiva MBrace RESIN 55, debe aplicarse sobre MBrace RESIN 50 después de 30 minutos y antes que hayan transcurrido 48 horas desde su aplicación.

El soporte deberá tener una temperatura

mínima de +5°C y sin presencia de humedad. Comprobar que en el momento de la aplicación la temperatura del soporte se encuentra por lo menos 3°C por encima del correspondiente punto de rocío.

En caso de que el soporte presente irregularidades superiores a 5 mm deberán suavizarse mecánicamente antes de la aplicación de la imprimación o bien regularizarse. Para la regularización puede emplearse APOSAN o bien una mezcla de MBrace RESIN 220 (I) y BETTOFILLER en proporción 1:0,25.

(b) Aplicación: Distribuir MBrace RESIN 55 de forma uniforme sobre toda la superficie, con la ayuda de una brocha o un rodillo, garantizando una impregnación completa. La apariencia del saturante, cuando se aplica con rodillo, debe ser azul translúcido y homogéneo.

A continuación embeber la MBrace HF en el MBrace RESIN 55 aplicado, presionando con un rodillo de ranuras metálicas, hasta lograr una perfecta impregnación de la fibra con el conjunto. Transcurridos unos 30 minutos se puede aplicar la segunda capa de saturante.

Debe lograrse una unión íntima entre la resina aplicada en dos fases, las fibras intermedias y el soporte inferior. La lámina de fibra debe ser visible. El color resultante de la aplicación variará en función del solape y a las variaciones en el espesor. Las áreas solapadas también deberán ser translúcidas.

Para gramajes de fibra superiores a 400 g/m<sup>2</sup> es indispensable la impregnación automática.

(c) Acabado protector: Una vez endurecido el Mbrace RESIN 55 podrá aplicarse una capa de acabado decorativo y protector con SUPRACOLOR (ver ficha técnica núm. 3.3.05) o de MASTERSEAL 325 E (ver ficha técnica núm. 2.5.07), previo espolvoreo de árido de cuarzo fino.

Base del material

Mantas unidireccionales de fibras de carbono (tipo C) de aramida (tipo A) y bidireccionales de fibra de vidrio (tipo G).

Almacenaje:

Almacenar los materiales en lugar fresco y seco, lejos de la luz directa del sol, las llamas u otros peligros.

## Presentación

Tipo	Ancho (mm)	Longitud (m)
MBrace HF CF120 / CF 130 / CF 140	300	150
MBrace HF CF530	300	50
MBrace HF G	680	50
MBrace HF A	300	150

Para fibras tipo MBrace CF hay disponibilidad de gramajes de 600 g/m<sup>2</sup> y 800 g/m<sup>2</sup> bajo pedido.

Para fibras tipo MBrace G hay disponibilidad de gramajes de 880 g/m<sup>2</sup> bajo pedido.

Para fibras tipo MBrace A hay disponibilidad de gramajes de 630 y 840 g/m<sup>2</sup> bajo pedido.

## Manipulación y transporte:

Para la manipulación de este producto deberán observarse las medidas preventivas habituales en el manejo de productos químicos, por ejemplo no comer, fumar ni beber durante el trabajo y lavarse las manos antes de una pausa y al finalizar el trabajo.

Puede consultarse la información específica de seguridad en el manejo y transporte de

este producto en la Hoja de Datos de Seguridad del mismo.

La eliminación del producto y su envase debe realizarse de acuerdo con la legislación vigente y es responsabilidad del poseedor final del producto.

Debe tenerse en cuenta

- No aplicar las mantas de fibras de vidrio no resistentes al álcali (tipo G-E) en contacto directo con hormigón.

- Para garantizar el éxito del refuerzo, se debe asegurar una unión perfecta entre el compuesto MBrace y el soporte, tal que permita una correcta transmisión de esfuerzos entre el elemento y el compuesto resistente.

- Un fallo de adherencia entre el soporte y el compuesto, o entre los componentes del compuesto conduce irrevocablemente a un fallo del refuerzo.

- No aplicar sobre soportes húmedos o con temperaturas por debajo de +5°C.

- Según la tipología de refuerzo a realizar, y de acuerdo a las guías y recomendaciones de diseño vigentes, se limitará la eficiencia de los materiales compuestos mediante los adecuados coeficientes minoradores.

## Datos Técnicos tejidos de fibra de vidrio bidireccionales

	<b>MBrace G-E 90/10</b>	<b>MBrace G-AR-90/10</b>	<b>MBrace G-E 50/50</b>	<b>MBrace G-AR-50/50</b>
Espesor hoja (dirección principal)	0,154 mm	0,149 mm	0,067 mm	0,065 mm
Peso hoja total	440 g/m <sup>2</sup>	440 g/m <sup>2</sup>	350 g/m <sup>2</sup>	350g/m <sup>2</sup>
Ancho hoja	680 mm	680mm	680mm	680 mm
Longitud hoja	50 m	50 m	50 m	50 m
Densidad fibra	2.6 g/cm <sup>3</sup>	2.68 g/cm <sup>3</sup>	2.6 g/cm <sup>3</sup>	2.68 g/cm <sup>3</sup>
Módulo elástico de la fibra	73.000 MPa	65.000 MPa	73.000 MPa	65.000 MPa

	<b>MBrace G-E 90/10</b>	<b>MBrace G- AR-90/10</b>	<b>MBrace G-E 50/50</b>	<b>MBrace G-AR- 50/50</b>
Resistencia a tracción	3400 MPa	3000 MPa	3400 MPa	3000 MPa
Elongación última	4,5 %	4,3 %	4,5 %	4,3 %

Los parámetros resistentes corresponden a valores característicos, tratados estadísticamente de acuerdo al percentil de confianza.

Datos Técnicos Hojas de fibra de aramida unidireccionales

	<b>MBrace A 120/290</b>	<b>MBrace A 120/420</b>
Espesor hoja	0,2 mm	0,29 mm
Peso hoja	290 g/m <sup>2</sup>	420 g/m <sup>2</sup>
Ancho hoja	300 mm	300 mm
Longitud hoja	150 m	150 m
Densidad fibra	1,45 g/cm <sup>3</sup>	1,45 g/cm <sup>3</sup>
Módulo elástico	120.000 MPa	120.000 MPa
Resistencia a tracción	2900 MPa	2900 MPa
Elongación última	2,5 %	2,5 %

Los parámetros resistentes corresponden a valores característicos, tratados estadísticamente de acuerdo al percentil de confianza.

**I.IV.A.a Resina epoxi de imprimación**

MBrace RESIN 50  
(MBrace IMPRIMACIÓN) FT 2.6.01  
Imprimación epoxi para el sistema  
compuesto de refuerzo estructural  
a base de fibra de carbono.

Campo de aplicación

- Imprimación previa a la aplicación de MBrace RESIN 55, y MBrace RESIN 220 (I) en sistemas de refuerzo de estructuras con fibra de carbono.
- MBrace RESIN 50 puede usarse sobre soportes de hormigón, acero y mampostería.
- Sobre soportes de hormigón, el producto sella la porosidad y las oquedades del soporte, evitando la oclusión de burbujas de aire y garantizando una adherencia óptima del refuerzo.
- Sobre soportes de acero, la imprimación

funciona como un excelente adhesivo, además de ser una eficaz protección contra la oxidación.

Propiedades

- Excelente adherencia.
- Excelente penetración debido a su baja viscosidad.
- Contenido en sólidos del 100%. No contiene disolventes.

Base del material-

Resina epoxi en dos componentes, fluida y exenta de disolventes.

Modo de utilización-

- (a) Soporte:  
Sobre hormigón:  
El soporte debe estar limpio, seco (humedad máxima 4% según CM-GERÄT), firme (Resistencia a tracción mínima 1,5 N/mm<sup>2</sup>),

rugoso y libre de aceites, grasas, pinturas, restos de aceites, desencofrantes, polvo, etc. Para ello, se debe tratar con medios mecánicos o por chorreado de arena, hasta conseguir la eliminación total de cualquier impureza o contaminante superficial. El soporte deberá tener una temperatura mínima de +5°C y encontrarse un mínimo de 3°C por encima del correspondiente punto de rocío.

Sobre acero:

La superficie debe estar limpia, seca y libre de contaminantes. Deberá ser tratada con un abrasivo limpio y seco hasta obtener una rugosidad mínima de 75 micras.

El soporte deberá tener una temperatura mínima de +5°C y encontrarse un mínimo de 3°C por encima del correspondiente punto de rocío.

(b) Mezcla:

MBrace RESIN 50 se presenta en proporciones adecuadas para realizar la mezcla directamente. No se recomiendan en ningún caso las mezclas parciales. Verter el componente II, dentro del recipiente del componente I (recipiente de trabajo). Mezclar cuidadosamente con un taladro provisto de agitador (tipo M- 17) a 400 r.p.m. de velocidad de rotación máxima, durante 3 minutos como mínimo o hasta obtener una masa homogénea sin grumos.

Aplicación: Distribuir de forma uniforme sobre toda la superficie, con la ayuda de una brocha o un rodillo, garantizando una impregnación completa de la porosidad y las oquedades del soporte.

Tiempo de espera entre aplicaciones sucesivas:

Para la aplicación de MBrace HOJA DE FIBRA, se recomienda esperar un periodo de 30 minutos aproximadamente (en función de las temperaturas ambientales) para aplicar el siguiente producto del sistema MBrace.

Para la aplicación de MBrace LAMINADO se recomienda esperar un periodo de 90 minutos (aproximadamente) antes de proceder con la aplicación de MBrace RESIN 220.

Las superficies tratadas con MBrace RESIN 50 deberán ser cubiertas como máximo 48 horas después de su aplicación, para asegurar una completa adherencia. En caso de exceder

este tiempo, se recomienda lijar el paramento y aplicar una nueva mano de MBrace RESIN 50.

Limpieza de herramientas y útiles de trabajo: En estado fresco puede limpiarse con PREPARACIÓN BETTOR UNIVERSAL. En el caso de que el material esté endurecido sólo puede limpiarse mecánicamente.

Consumo:

El consumo habitual sobre soporte de hormigón es de 300 g/m<sup>2</sup> a 400 g/m<sup>2</sup>. El consumo sobre superficies metálicas es de aproximadamente 180 g/m<sup>2</sup>.

Este consumo es teórico y dependen de la rugosidad de las condiciones particulares de cada obra. Para determinar los consumos exactos deben hacerse ensayos representativos en obra.

Presentación: Conjuntos de 1 Kg.

Almacenaje: Puede almacenarse 18 meses en lugar fresco y seco y en sus envases originales cerrados.

Manipulación y transporte: Para la manipulación de este producto deberán observarse las medidas preventivas habituales en el manejo de productos químicos, por ejemplo no comer, fumar ni beber durante el trabajo y lavarse las manos antes de una pausa y al finalizar el trabajo.

Puede consultarse la información específica de seguridad en el manejo y transporte de este producto en la Hoja de Datos de Seguridad del mismo.

La eliminación del producto y su envase debe realizarse de acuerdo con la legislación vigente y es responsabilidad del poseedor final del producto.

Debe tenerse en cuenta

- Para garantizar el éxito del refuerzo, se debe asegurar una unión perfecta entre el compuesto MBrace y el soporte, con objeto de conseguir una perfecta transmisión de esfuerzos entre el elemento y el compuesto resistente. Un fallo de adherencia entre el soporte y el compuesto, o entre los componentes del compuesto conduce, prematuramente, a un fallo del refuerzo.
- No aplicar sobre soportes húmedos o con



temperaturas por debajo de +5°C.  
 - No deben realizarse mezclas parciales de los contenidos de los envases de ambos componentes.  
 - No añadir agua, disolventes ni otras sustancias que puedan afectar a las propiedades del material endurecido.  
 - Respetar los tiempos máximos de espera entre la aplicación de los diferentes productos que conforman el sistema MBrace.  
 - No preparar una cantidad de mezcla superior a la que podrá aplicarse durante el periodo de trabajo. El tiempo disponible para

realizar el trabajo, la temperatura y la complejidad del material determinará cuál es la cantidad de material que puede prepararse de una vez.  
 - Con tiempo caluroso mantenga el material frío y protegido de la luz solar directa. El periodo real de trabajo en época de calor se puede prolongar de mantener el material frío, tanto antes como después de mezclarlo, y si se introduce en un recipiente con una mezcla de agua fría y hielo.

Datos Técnicos

Densidad (20°C):	aprox. 1,1 g/cm <sup>3</sup> .
Pot Life (25°C):	aprox. 20 min.
Ensayos a tracción:	
Rotura a tracción (ASTM D638):	12 N/mm <sup>2</sup>
Deformación en rotura (ASTM D638):	3%
Módulo elástico (ASTM D638):	717 N/mm <sup>2</sup>
Ensayos a flexión:	
Rotura a flexión (ASTM D790):	24 N/mm <sup>2</sup>
Módulo a flexión (ASTM D790):	593 N/mm <sup>2</sup>
Ensayos a compresión:	
Rotura a compresión (ASTM D695):	24 N/mm <sup>2</sup>
Módulo a compresión (ASTM D695):	669 N/mm <sup>2</sup>
Adherencia:	> 2,5 N/mm <sup>2</sup> (Rotura por hormigón)

Los tiempos de endurecimiento están medidos a 20°C y 65% de H.R.. Temperaturas superiores pueden acortar estos tiempos y viceversa. Los datos técnicos reflejados son fruto de resultados estadísticos y no representan mínimos garantizados. Si se desean datos de control pueden solicitarse “Especificaciones de Venta” del producto al Departamento Técnico de la empresa.

**I.IV.A.b. Resina epoxi saturante**

MBrace RESIN 55 (MBrace SATURANTE)  
 FT 2.6.03. Resina epoxi saturante para Hojas de Fibra MBrace.

Campo de aplicación: Impregnación, fijación y estructuración de hojas fibras de carbono, fibra de vidrio o de aramida MBrace para refuerzo de:

- Pilares a compresión.

- Vigas a cortante.  
 - Vigas a flexión.

Propiedades:

- Elevadas resistencias.  
 - Excelentes adherencia.  
 - Fácil aplicación.  
 - Reducida viscosidad.  
 - Fácil impregnación de las fibras.  
 - Sin disolventes.  
 - Pigmentación traslúcida.

Base del material: Resina epoxi en dos componentes, fluida y exenta de disolventes.

Modo de utilización:

(a) Soporte:

La resina adhesiva MBrace RESIN 55, se debe aplicar sobre MBrace RESIN 50 después de 30 minutos y antes que hayan transcurrido 48 horas desde su aplicación.

De transcurrir un tiempo superior, deberá lijarse la superficie y volverse a aplicar el producto. La superficie a aplicar deberá estar libre de cualquier impureza o contaminante superficial.

El soporte deberá tener una temperatura mínima de +5°C y se encontrará también a un mínimo de 3°C por encima del correspondiente punto de rocío.

(b) Mezcla:

MBrace RESIN 55 se presenta en proporciones adecuadas para realizar la mezcla directamente. No se recomiendan en ningún caso las mezclas parciales. Verter el Componente II dentro del recipiente del Componente I (recipiente de trabajo). Mezclar intensamente con un taladro provisto de agitador a 400 r.p.m. de velocidad de rotación máxima, durante 3 minutos como mínimo o hasta obtener una masa homogénea sin grumos.

(c) Aplicación: Distribuir de forma uniforme sobre toda la superficie, con la ayuda de una brocha o un rodillo, garantizando una impregnación completa. La apariencia del MBrace RESIN 55, cuando se aplica con rodillo, debe ser azul translúcido.

A continuación embeber la MBrace HOJA DE FIBRA en el MBrace RESIN 55 aplicado, presionando con un rodillo de ranuras metálicas, hasta lograr una perfecta impregnación de la fibra con el conjunto. Transcurridos unos 30 minutos se puede aplicar la segunda capa de MBrace RESIN 55. Debe lograrse una unión íntima entre la resina aplicada en dos fases, las fibras intermedias y el soporte inferior. La lámina negra de fibra de carbono debe ser visible. El color resultante de la aplicación variará en función del solape y a las variaciones en el espesor. Las áreas solapadas también deberán

ser translúcidas.

Limpieza de herramientas y útiles de trabajo  
En estado fresco puede limpiarse con PREPARACIÓN BETTOR UNIVERSAL.

En el caso de que el material esté endurecido sólo puede limpiarse mecánicamente.

Consumo: Un consumo habitual de resina mezclada, aplicado en dos manos e impregnando completamente las fibras, es de 650 a 800 g/m<sup>2</sup>. Este consumo es teórico y depende de la rugosidad del soporte por lo que debe ajustarse para cada obra en particular, mediante ensayos "in situ".

Presentación: Envases de 5 Kg.

Almacenaje: Puede almacenarse 18 meses en lugar fresco y seco y en sus envases originales cerrados.

Manipulación y transporte: Para la manipulación de este producto deberán observarse las medidas preventivas habituales en el manejo de productos químicos, por ejemplo no comer, fumar ni beber durante el trabajo y lavarse las manos antes de una pausa y al finalizar el trabajo. Puede consultarse la información específica de seguridad en el manejo y transporte de este producto en la Hoja de Datos de Seguridad del mismo.

La eliminación del producto y su envase debe realizarse de acuerdo con la legislación vigente y es responsabilidad del poseedor final del producto.

Debe tenerse en cuenta:

- MBrace RESIN 55 dejará embebidas las hojas de fibra de carbono, mediante la impregnación con dos aplicaciones sucesivas.
- Para garantizar el éxito del refuerzo, se debe asegurar una unión perfecta entre el compuesto MBrace y el soporte, tal que permita una correcta transmisión de esfuerzos entre el elemento y el compuesto resistente.
- Un fallo de adherencia entre el soporte y el compuesto, o entre los componentes del compuesto conduce irrevocablemente a un fallo del refuerzo.
- No aplicar sobre soportes húmedos o con temperaturas por debajo de +5°C.

- No deben realizarse mezclas parciales de los contenidos de los envases de ambos componentes.
- No añadir agua, disolventes ni otras sustancias que puedan afectar a las propiedades del material endurecido.
- Respetar los tiempos máximos de espera entre la aplicación de los diferentes productos que conforman el sistema MBrace.
- No preparar una cantidad de mezcla superior a la que podrá aplicarse durante el período de trabajo. El tiempo disponible para realizar el trabajo, la temperatura y la

complejidad del material determinará cuál es la cantidad de material que puede prepararse de una vez.

- Con tiempo caluroso mantenga el material frío y protegido de la luz solar directa. El periodo real de trabajo en época de calor se puede prolongar de mantener el material frío, tanto antes como después de mezclarlo, y si se introduce en un recipiente con una mezcla de agua fría y hielo.

Datos Técnicos

Densidad:	aprox. 1,04 g/cm3.
Pot life a 25°C:	45 minutos.
Ensayos a tracción:	
Rotura a tracción (ASTM D638):	54 N/mm2
Deformación a rotura (ASTM D638):	2,5%
Módulo elástico (ASTM D638):	3034 N/mm2
Ensayos a flexión:	
Rotura a flexión (ASTM D790):	124 N/mm2
Módulo a flexión (ASTM D790):	3731 N/mm2
Ensayos a compresión:	
Rotura a compresión (ASTM D695):	86 N/mm2
Módulo a compresión (ASTM D695):	2621 N/mm2
Adherencia:	Rotura en hormigón
Color conjunto:	Azul
Espesor máximo por capa sin descuelgue	0,6 mm

Los tiempos de endurecimiento están medidos a 20oC y 65% de H.R. Temperaturas superiores y/o H.R. inferiores pueden acortar estos tiempos y viceversa. Los datos técnicos reflejados son fruto de resultados estadísticos y no representan mínimos garantizados. Si se desean datos de control pueden solicitarse las "Especificaciones de venta" del producto al Departamento Técnico de la empresa.

**I.IV.B. Madera micro-laminada**

Yerto (madera micro-laminada) es un producto de laminas de madera con aspecto natural, realizado con abeto finlandés

encolando láminas obtenidas por desenrollo en paneles continuos. Cada panel de 1.8 m de ancho puede ser cortado en las dimensiones especificadas por el cliente en función de sus necesidades (vigas, paneles o elementos de estructuras). La gama de espesores va desde

21 a 90 mm y la longitud máxima es de 26 m.

El producto tiene más capacidad de carga que otros materiales tradicionales de madera.

Yerto es más fuerte, más recto, más ligero y más estable que la madera aserrada comercializada. Esta disponible en productos

estándar en los que todas las láminas son paralelas (Kerto-S) y también como la versión Kero-Q en la que aproximadamente una de cada cinco láminas están cruzadas. El Kerto-S es utilizado normalmente como viga y el Kerto-Q como panel.

Datos técnicos Kerto-Q:

Propiedad	Valores (5%) MPa
Flexión a canto	36
Flexión plana	36
Tracción paralela a la fibra	27
Tracción perpendicular a la fibra	6.7
Compresión paralela a la fibra	27
Compresión de canto perpendicular a la fibra	12
Compresión plana perpendicular a la fibra	3.5
Resistencia cortante a canto	5.5
Resistencia cortante plana	1.5
Valor medio módulo de elasticidad	10000
<b>Variación dimensional (en % por variación de humedad del 1%)</b>	
Longitud	0.01
Ancho	0.03
Espesor	0.24

#### I.IV.C. Baldosas cerámicas

Cerámicas Calaf presenta al mercado la nueva baldosa de la Serie CADI de tierra cocida "gresificada", sin abandonar su característica más peculiar: un material natural en su color, textura y aspecto que conserva todo el calor y la tradición de la cerámica de siempre.

La nueva Serie CADI mantiene el carácter rústico, cálido y natural con las mismas cualidades y ventajas del material gresificado. Al mantener la absorción de agua entre el 3% y el 6% se evita la aparición de eflorescencias y humedades, lo que mejora su colocación, facilita el rápido uso y favorece cualquier aplicación de tratamiento.

Sus principales características son las siguientes:

- Resistencia a aguas cloradas de las piscinas y al agua del mar
- Superficie antideslizante
- Resistencia al desgaste (Mohs 7-8)

La Serie CADI se presenta en los colores Naranja y Naranja Rústico

Características técnicas:

Las baldosas pueden tener una ligera variación de medidas. Se recomienda instalarlas con una junta de 8 a 10 mm.

El semigres rústico tiene normalmente variaciones de color entre las piezas de un mismo lote de producción. Además de la variación de color, algunas piezas pueden tener pequeñas imperfecciones. Estas cualidades son características de las baldosas rústicas y se deben considerar como normales.

La variación de las medidas, planimetría, tono y los escantillados, dentro de la normativa establecida, no deben considerarse en ningún caso como defectos de producción.

Debido a la naturaleza de este material, al efectuar la colocación, es conveniente mezclar piezas de distintas cajas o palets, para conseguir un mejor efecto estético. Asimismo se recomienda colocar todas las

piezas en el mismo sentido de las estrías que se observan en su parte inferior. Se recomienda utilizar varias piezas representativas de las variaciones de color antes de la decisión final. Una sola muestra

puede no ser suficientemente representativa. Por ello, se aconseja utilizar varias piezas para determinar la variación de tonos actualizada.

**Características técnicas.**

**Tabla de especificaciones técnicas:**

Característica	Normativa	Naranja	Nar. Rústico
Absorción de agua	EN87 AIIa 3%-6%	≤ 5 %	≤ 5%
Medidas de longitud	EN 98 ± 1,5%	Cumple norma	Cumple norma
Planimetría	EN 98 ± 1%	Cumple norma	Cumple norma
Choque Térmico	EN 104	Resiste	Resiste
Dilatación Térmica (lineal)	EN 103 10 X 10 <sup>-6</sup> (K <sup>-1</sup> )	<2,9x10 <sup>-6</sup> (K <sup>-1</sup> )	< 2,9x10 <sup>-6</sup> (K <sup>-1</sup> )
Resistencia a la flexión	EN 100 A-IIa min. 10N /mm <sup>2</sup>	> 20 N /mm <sup>3</sup>	> 20 N /mm <sup>3</sup>
Dureza superficial	EN 101 MOHS 5	MOHS 6	MOHS 6
Desgaste por abrasión	EN 102 Max. 771mm <sup>3</sup>	< 500 mm <sup>3</sup>	< 500 mm <sup>3</sup>
Resistencia a productos de limpieza	EN 106	Cumple norma	Cumple norma
Coefficiente de deslizamiento	UNE 127.020/99	0,52	0,52

Código	Pieza Medida cm	Peso U.	Pieza m <sup>2</sup> /ml	Piezas paquete	Paquetes Palet	Piezas Palet	m <sup>2</sup> /ml Palet	Peso Palet
11020	Rasillas 13,1x27,2x1,3	0,80	25,50	20	96	1.920	75,20	1.550

**Cerámicas Calaf, S.A.**

Ctra. de Folquer a Jorba, km 38.200  
 08020 Calaf (Barcelona) Spain  
 Tel: (+34) 93 869 82 50  
 Fax: (+34) 93 869 92 69 [✉calaf@ascer.es](mailto:calaf@ascer.es)

**I.IV.D. Adhesivo de poliuretano utilizado para las aplicaciones de madera micro-laminada y baldosas cerámicas**

Adhesivo de poliuretano bicomponente especial para colocación de baldosas de cerámica en superficies de acero y polyester.

**Campo de aplicación**

- Aplicable en interiores y exteriores.
- Aplicable en paredes y suelos.
- Colocación de baldosas de cerámica, gres, piedra natural, mosaico, etc.
- Colocación sobre soportes de madera, cartón-yeso, fibrocemento.
- Adhesivo sobre soportes no absorbentes como PVC, polyester, acero, cerámica

antigua, etc.

**Propiedades**

- Aplicable en espesores hasta 5 mm.
- Endurece rápidamente y sin fisuración.
- Flexible.
- Excelente adherencia sobre soportes impermeables y no absorbentes.
- Impermeable al agua.
- Protege la madera del agua y del vapor de agua.

**Base del material**

Poliuretano de dos componentes.

**Modo de utilización:**

- (a) Soporte:

El soporte debe ser firme (resistencia a tracción mínima de 1 N/mm<sup>2</sup>, sobre soporte

de hormigón), seco, libre de polvo, restos de grasas, aceites, pinturas antiguas, óxido, etc. Debe ser capaz de soportar las solicitaciones propias del uso a las que va destinado. Soportes metálicos deberán, limpiarse con PREPARACIÓN BETTOR UNIVERSAL u otros disolventes para eliminar grasas u otras suciedades. El trabajo sobre soportes minerales húmedos debe evitarse. La temperatura del soporte debe ser superior a +10oC e inferior a los +30oC. Los soportes de PVC deben ser rígidos y se les debe dar rugosidad para mejorar la adherencia del COLLASTIC.

(b) Mezcla:

Antes de realizar la mezcla, la temperatura de los materiales debe encontrarse entre 10°C y 30oC. Verter el componente II en el recipiente del componente I y asegurarse que el recipiente II quede completamente vacío. Para conseguir una mezcla homogénea, y sin grumos se deben mezclar los dos componentes con un taladro provisto de agitador tipo M05 a bajas revoluciones (400 r.p.m.) El agitador debe alcanzar los lados y la parte superior del recipiente. Agitar hasta que la mezcla sea homogénea de color azul. En ningún caso es recomendable realizar mezclas parciales. Para prolongar el tiempo abierto de trabajo, se puede extraer la mezcla ya batida de COLLASTIC del recipiente de trabajo y repartirla en pequeñas cantidades sobre la superficie a tratar, de esta forma puede disiparse el calor de reacción.

(c) Aplicación:

Con la parte lisa de la llana, aplicar una fina capa de contacto sobre el soporte. A continuación aplicar más material con la parte dentada de la llana, procurando no deteriorar la capa de contacto. No aplicar más COLLASTIC del que pueda utilizarse durante su tiempo abierto. Es posible también aplicar una capa de 1,5 mm de COLLASTIC como aislamiento y en las siguientes 24 horas aplicar una nueva capa y seguidamente colocar la cerámica.

Ficha Técnica 4.3.01

Para placas de piedra pesadas puede ser necesario colocar cuñas en las juntas para sostener las placas. Las juntas deben permanecer libres. Las placas se colocan sobre COLLASTIC y a continuación se aprieta bien y desplazan hasta quedar colocadas definitivamente y se acuñan.

(d) Rejuntado:

Tras 3 horas puede rejuntarse según las necesidades de la aplicación: Para juntas sin agresión química JUNTADECOR FT (ver ficha técnica núm 4.4.02) y JUNTAGRES FT (ver ficha técnica núm 4.4.01). Juntas deformables e impermeables con FLEXFUGE (ver ficha técnica núm 4.4.03). Para juntas impermeables con elevada resistencia química RIGAMULS N (ver ficha técnica núm 4.5.01) o RIGAMULS S30 (ver ficha técnica núm 4.5.02).

Limpieza de herramientas

En fresco COLLASTIC se puede limpiar con PREPARACIÓN BETTOR UNIVERSAL. Una vez endurecido el material sólo se puede eliminar mecánicamente. COLLASTIC no endurecido se elimina de la piel con agua caliente y jabón.

Consumo

Aproximadamente 1,5 kg/m<sup>2</sup>/mm de espesor. Este consumo es teórico y deberá ajustarse para cada obra en particular mediante ensayos representativos "in situ".

Presentación: COLLASTIC se suministra en conjuntos de 3 kg.

Condiciones de almacenamiento/  
Tiempo de conservación: Puede almacenarse durante 12 meses en lugar fresco, seco, bien aireado en sus envases originales cerrados. Evitar temperaturas de almacenamiento superiores a +50oC e inferiores a 0oC.

Manipulación y transporte  
Componente I:

Para su manipulación deberán observarse las medidas preventivas usuales para el manejo de productos químicos, por ejemplo usar gafas y guantes.

Lavarse las manos antes de una pausa y al término del trabajo. No comer, beber ni fumar durante la aplicación.

Este producto no está considerado como mercancía peligrosa en el transporte por carretera.

**Componente II:**

Nocivo.

Frases-R: 20 Nocivo por inhalación.

36/37/38 Irrita los ojos, la piel y las vías respiratorias.

42/43 Posibilidad de sensibilización por inhalación y en contacto con la piel.

Frases-S: 24/25 Evítese el contacto con los ojos y la piel.

26 En caso de contacto con los ojos, lávese inmediata y abundantemente con agua y acúdase a un médico.

28 En caso de contacto con la piel, lávese inmediata y abundantemente con agua y jabón.

37 Úsense guantes adecuados.

45 En caso de accidente o malestar, acúdase inmediatamente al médico (si es posible,

muéstresele la etiqueta).

51 Úsense únicamente en lugares bien ventilados.

Este producto no está considerado como mercancía

peligrosa en el transporte por carretera.

La eliminación del producto y su envase deberá realizarse de acuerdo con la legislación vigente y es responsabilidad del poseedor final.

Hay que tener en cuenta

- No aplicar sobre soportes a temperaturas inferiores a +10oC ni superiores a +30oC.

- No añadir disolventes, arena ni otras sustancias que puedan afectar a las propiedades del material.

- Asegurarse que las baldosas que se van a colocar no presentan humedad residual.

- El soporte debe estar seco.

- En ningún caso es recomendable realizar mezclas parciales.

- Aplicable en espesores de 1 a 5 mm.

- En la aplicación de COLLASTIC sobre soleras de hormigón debe asegurarse que no presentan humedades ascendentes.

- Los soporte de PVC deben ser rígidos y presentar rugosidad.

*Rendimiento*

Este rendimiento es teórico y deberá ajustarse para cada obra en particular mediante ensayos representativos "in situ".

TIPO DE BALDOSA	TAMAÑO	DENTADO DE LA LLANA	3 kg RINDEN PARA APROX.
Cerámica sin reverso pronunciado.	10 x 10 cm 20 x 20 cm más 20 x 20 cm	4 mm 6 mm 8 mm	1,5 m2 1,1 m2 0,8 m2
Cerámica con reverso pronunciado.	10 x 10 cm 20 x 20 cm más 20 x 20 cm	6 mm 8 mm 8 mm	1,1 m2 0,8 m2 0,8 m2
	24 x 11,5 cm	8 mm	0,7 m2

*Datos técnicos*

---

Aspecto:	Masilla azul.
Densidad (UNE 48098):	aprox. 1,5 g/cm <sup>3</sup> .
Temperatura de aplicación (soporte y material):	de +10oC hasta +30oC.
Pot-Life (UNE 48086):	aprox. 45 minutos.
Tiempo abierto:	aprox. 60 min.
Rejuntable tras:	aprox. 3 horas.
Totalmente cargable tras:	aprox. 12 días.
Espesores aplicables:	de 1 a 5 mm.
Resistencia a la temperatura:	de -20oC hasta +80oC.
Deslizamiento (UNE 1308):	0 mm.
Adherencia sobre el hormigón a los 7 días:	> 2.5 N/mm <sup>2</sup> .

---

Los tiempos de endurecimiento están medidos a 20°C y 65% de H.R. Temperaturas superiores y/o H.R. inferiores pueden acortar estos tiempos y viceversa.

---

Bettor MBT, S.A.  
 Basters, 15  
 08184 PALAU-SOLITÀ i PLEGAMANS (Barcelona)  
 Telf.: 93 862 00 00 - Fax 93 862 00 20  
 Internet: <http://www.bettor-mbt.es>

---



**A N E J O**

**II**

**E N S A Y O S   A U X I L I A R E S**



## II.I. SÍNTESIS

Se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de caracterización de mortero, piezas de ladrillo y tripletas; complementarios de la campaña experimental de rotura de probetas reforzadas con GFRP, AFRP, madera micro-laminada y baldosas cerámicas.

## II.II. CARACTERIZACIÓN DEL MORTERO M-80

Se realizaron ensayos de flexo-tracción y compresión de probetas del mortero M-80 utilizado para la fabricación de las probetas utilizadas en la campaña experimental descrita en los sub-apartados 3.5., 4.5 y 5.5.



Figura II.1 — Ensayos de flexotracción y compresión conforme a UNE-EN 196-1, para la campaña experimental de rotura de probetas reforzadas con GFRP, AFRP y otros materiales. Laboratorio de Tecnología de Estructuras, UPC

En la tabla II.1 se muestran los valores registrados en un lote de 25 muestras.

Ensayo	Resistencia flexotracción (MPa)	Compresión			
		Carga última (kN)	Tensión (MPa)	Carga última (kN)	Tensión (MPa)
1	0.7577	7.89	4.93	8.93	5.58
2	0.6946	13.45	8.41	9.51	5.94
3	1.0116	10.72	6.70	10.94	6.84
4	0.6445	12.03	7.52	7.94	4.96
5	1.2321	14.35	8.97	14.42	9.01
6	1.0011	14.49	9.06	15.96	9.98
7	1.1233	12.41	7.75	16.36	10.22
8	0.6212	6.25	3.91	6.45	4.03

9	0.6248	7.72	4.82	7.30	4.56
10	0.5087	7.47	4.67	6.37	3.98
11	0.6386	10.08	6.30	10.10	6.31
12	0.7694	10.81	6.76	11.27	7.04
13	0.8660	12.17	7.61	12.04	7.52
14	0.5500	10.09	6.31	8.85	5.53
15	0.7851	11.03	6.89	8.75	5.47
16	0.7698	11.38	7.11	10.92	6.82
17	0.7282	9.78	6.12	8.89	5.56
18	0.6738	8.12	5.08	7.62	4.77
19	0.7252	10.14	6.34	10.23	6.39
20	0.6994	10.13	6.33	10.71	6.70
21	1.1530	15.34	9.58	17.89	11.18
22	0.9936	21.67	13.54	18.69	11.68
23	0.6770	16.09	10.06	16.48	10.30
24	0.8568	16.17	10.10	15.51	9.69
25	0.9817	9.56	5.97	17.93	11.21
<i>Prom.:</i>	<i>0.8035</i>	<i>11.57</i>	<i>7.23</i>	<i>11.60</i>	<i>7.25</i>

**Tabla II.1 — Ensayos de flexo-tracción y compresión conforme a UNE-EN 196-1; fabricación de las muestras entre 15-nov-03 y 30-nov-03; rotura de probetas: entre 01-jun-04 y 10-jun-04, Laboratorio de Tecnología de Estructuras, UPC.**

### II.III. CARACTERIZACIÓN DE LAS PIEZAS DE LADRILLO MACIZO

Conforme a la norma española UNE-EN 772-1, se rompieron a compresión seis ladrillos macizos, extraídos de forma aleatoria del lote utilizado para la fabricación de las tripletas destinadas a la campaña experimental descrita en los sub-apartados 3.5, 4.5 y 5.5. A continuación se presentan los valores resistentes registrados.

Ensayo	Carga última (kN)	Tensión (MPa)
1	987.7	25.2
2	1014.5	25.9
3	889.6	22.7
4	995.5	25.4
5	950.4	24.2
6	1045.2	26.7

**Tabla II.2 — Valores de resistencia última y tensión registrados en las piezas de ladrillo**

## II.IV. COMPRESIÓN DE TRIPLETAS

Se realizaron seis ensayos de compresión, utilizando tripletas similares a las empleadas en la campaña experimental 3.3.



**Figura II.2 — Ensayos de rotura de tripletas de ladrillo: (a) tripleta refrentada antes de rotura; (b) muestra después de la rotura**

En la tabla II.3 se muestran los valores registrados en un lote de 6 muestras.

<b>Ensayo</b>	<b>Carga última</b> (kN)	<b>Tensión</b> (MPa)
1	967.9	24.7
2	934.6	23.8
3	813.3	20.7
4	934.5	23.8
5	864.9	22.1
6	930.2	23.7

**Tabla II.3— Valores de resistencia última y tensión registrados en las tripletas de ladrillo**



**III.3. CURVAS  $\sigma - \varepsilon$  DE LOS ENSAYOS REALIZADOS DURANTE LA CAMPAÑA DE ROTURA POR CORTANTE, DE TRIPLETAS SOMETIDAS A ESTADOS DE TENSIÓN BIAxIAL, REFORZADAS CON TEJIDOS GFRP Y AFRP, MADERA MICRO-LAMINADA Y BALDOSAS CERÁMICAS, CONFORME A LA TABLA III.2.:**

<i>Grupo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
$S^M$	<i>Probetas sin refuerzo, sujetas a proceso monotónico durante la fase de carga tangencial.</i>	350
$G^M$	<i>Probetas reforzadas en una cara con una capa de compuesto de tejido de fibra de vidrio, con orientación de las fibras resistentes dispuesta en <math>\angle = 90^\circ</math> respecto a las juntas de mortero.</i>	352
$G^{M1}$	<i>Probetas reforzadas en una cara con una capa de compuesto de tejido de fibra de vidrio, con orientación de las fibras resistentes dispuesta en <math>\angle = 45^\circ</math> respecto a las juntas de mortero.</i>	353
$G^{M2}$	<i>Probetas reforzadas en dos caras con una capa de compuesto de tejido de fibra de vidrio, con orientación de las fibras resistentes dispuesta en <math>\angle = 45^\circ</math> respecto a las juntas de mortero.</i>	354
$G^{M3}$	<i>Probetas reforzadas en dos caras con una capa de compuesto de tejido de fibra de vidrio, con orientación de fibras resistentes dispuesta en <math>\angle = 90^\circ</math> respecto a las juntas de mortero.</i>	354
$A^M$	<i>Probetas, reforzadas en una cara con una capa de compuesto de tejido de fibra de aramida, con orientación de fibras resistentes dispuesta en <math>\angle 90^\circ</math> respecto a las juntas de mortero.</i>	357
$M^{M1}$	<i>Probetas reforzadas en una cara con una capa de enchapado de madera microlaminada, con orientación de fibras resistentes dispuesta en <math>\angle 45^\circ</math> respecto a las juntas de mortero.</i>	359
$C^{M1}$	<i>Probetas reforzadas en una cara con una baldosa cerámica.</i>	360
$S^C$	<i>Probetas sin refuerzo, sometidas a proceso cíclico durante la fase de carga tangencial. Consta de cuatro conjuntos de probetas no reforzadas, con los que se caracterizan resistencias y modos de fallo bajo cuatro niveles de tensión normal</i>	362
$G^{C1}$	<i>Probetas reforzadas con una capa de compuesto de fibra de vidrio, aplicado en una cara, con orientación de las fibras resistentes dispuesta en <math>\angle = 45^\circ</math> respecto a las juntas de mortero.</i>	364
$G^{C3}$	<i>Probetas reforzadas con compuesto de fibra de vidrio, aplicado en una cara y en una capa, con orientación de las fibras resistentes dispuesta en <math>\angle = 90^\circ</math> respecto a las juntas de mortero.</i>	366
$A^{C1}$	<i>Probetas reforzadas con compuesto de fibra de aramida, aplicado en una cara y en una capa, con orientación de las fibras resistentes perpendicular respecto a las juntas de mortero.</i>	367

Grupo	Descripción	Página
$A^{C2}$	Probetas reforzadas con compuesto de fibra de aramida, aplicado en dos caras y dos capas, con orientación de las fibras resistentes en $\angle = 90^\circ$ respecto a las juntas de mortero.	369
$M^{C1}$	Probetas reforzadas con enchapado de madera micro-laminada, aplicado en una cara y en una capa, con una orientación de las fibras resistentes en $\angle = 45^\circ$ respecto a las juntas de mortero.	371
$C^{C1}$	Probetas reforzadas con embaldosado cerámico aplicado en una cara.	373

**Tabla III.1. — Índice de curvas  $\sigma - \varepsilon$  de las probetas sometidas a estados de tensión biaxial, reforzadas con tejidos gfrp y afrp, madera micro-laminada y baldosas cerámicas, presentadas en el documento anejo III**

### Curvas $\sigma - \varepsilon$ del Grupo $S^M$

Probetas sin refuerzo. Sujetas a proceso monotónico durante la fase de carga tangencial. Consta de cuatro conjuntos de probetas no reforzadas, con los que se caracterizan resistencias y modos de fallo bajo cuatro niveles de tensión normal

**Conjunto,**  
 $\sigma_n$  (N/mm<sup>2</sup>)

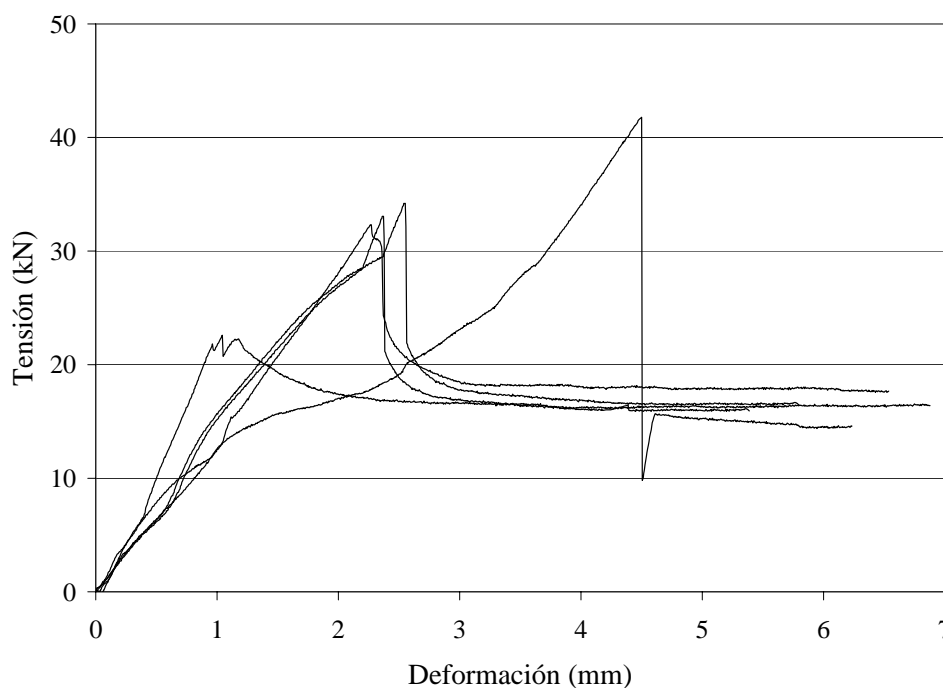
**Sa,** 0.51

**Sg,** 1.02

**Sh,** 1.53

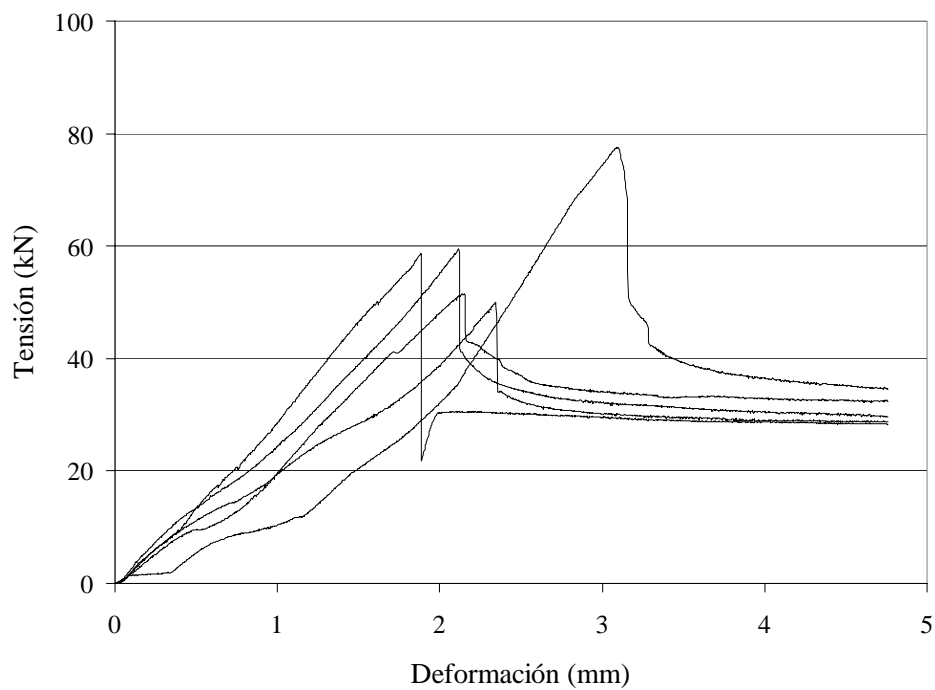
**Sd,** 2.04

**Sa:**

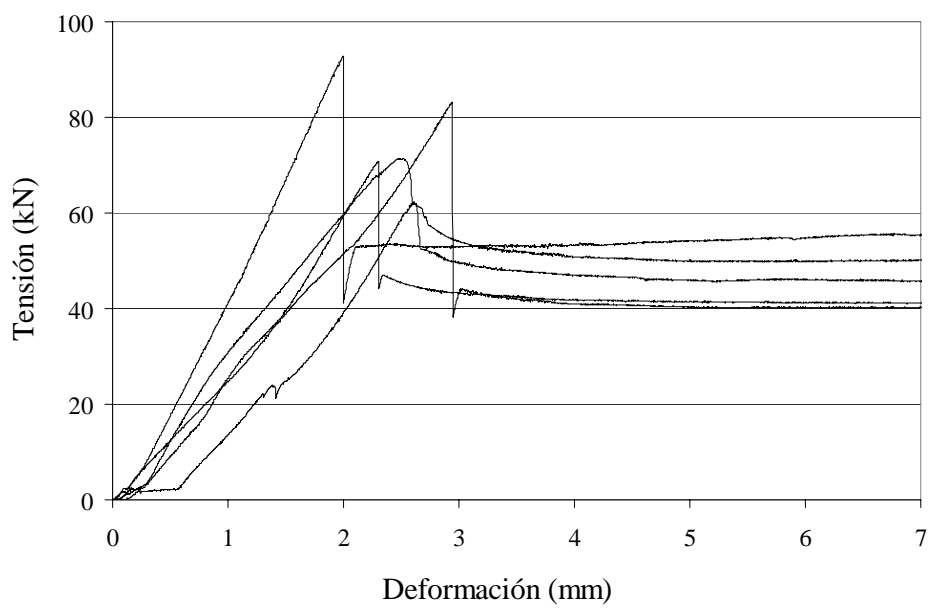


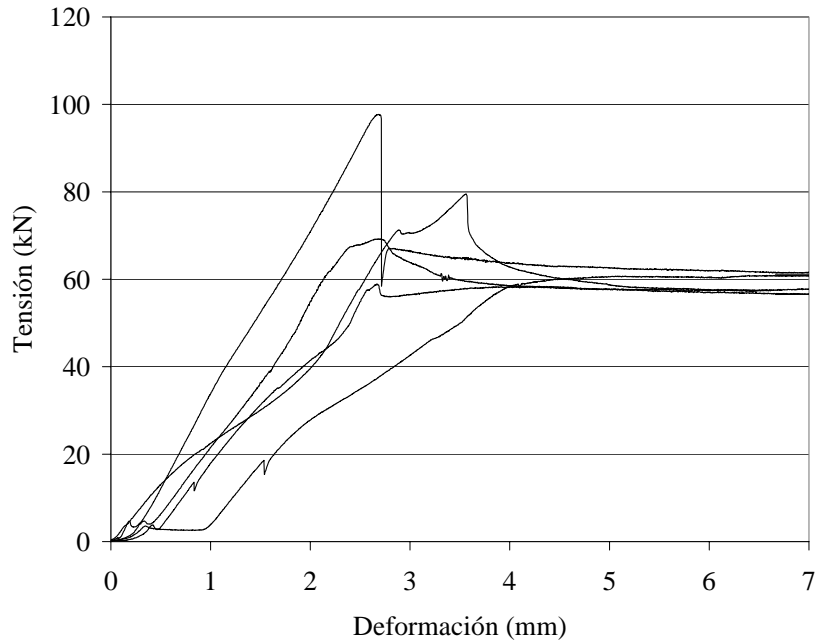


*Sg:*



*Sh:*



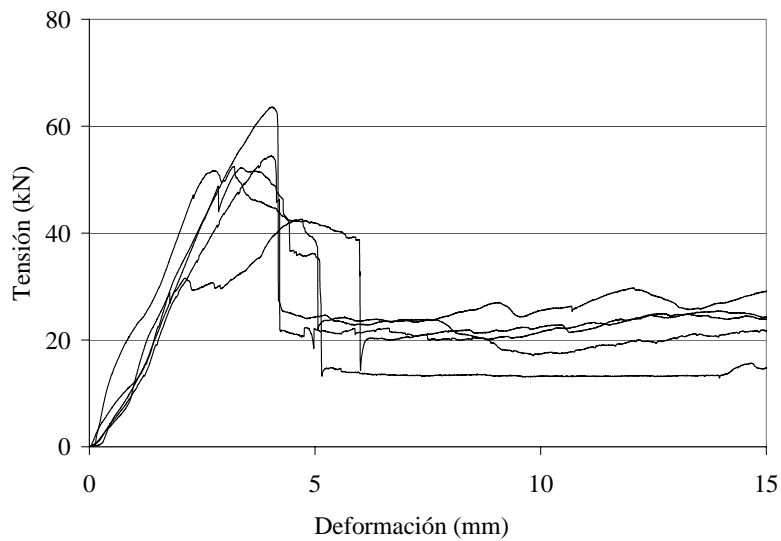
**Sd:****Curvas  $\sigma - \varepsilon$  del Grupo  $G^M$** 

El grupo consta de dos conjuntos de probetas reforzadas en una cara con una capa de compuesto de tejido de fibra de vidrio, con orientación de las fibras resistentes dispuesta en  $\angle = 90^\circ$  respecto a las juntas de mortero

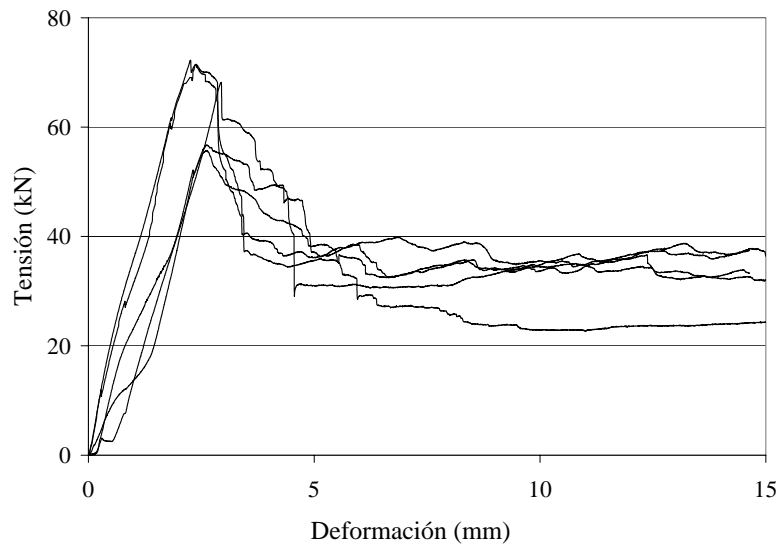
**Conjunto,**  
 $\sigma_n (N/mm^2)$

**Ga, 0.51**

**Gb, 1.02**

**Ga:**

**Gb:**

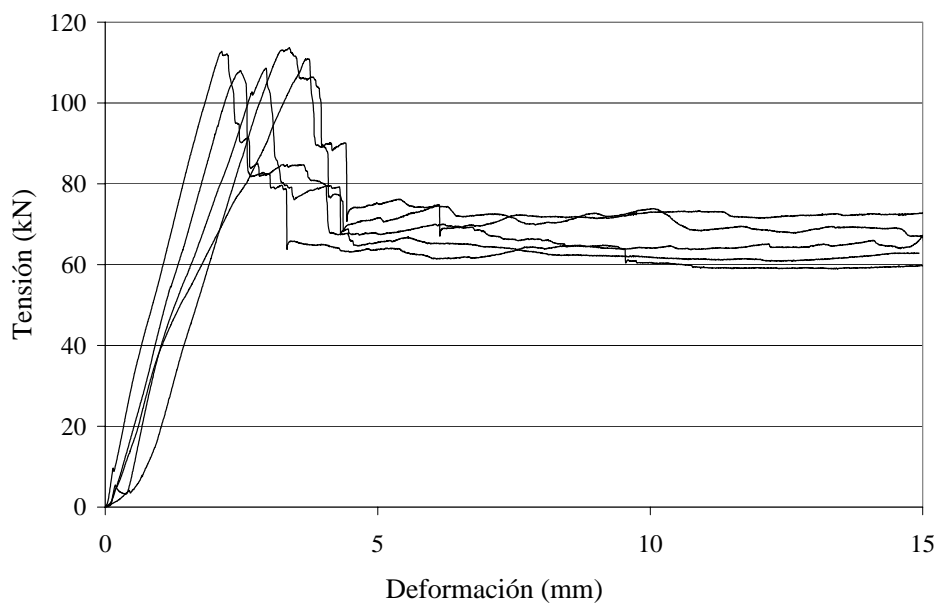


**Curvas  $\sigma - \varepsilon$  del Grupo  $G^{MI}$**

El grupo consta de un solo conjunto de probetas reforzadas en una cara con una capa de compuesto de tejido de fibra de vidrio, con orientación de las fibras resistentes dispuesta en  $\angle = 45^\circ$  respecto a las juntas de mortero.

Conjunto,  $\sigma_n (N/mm^2)$   
Gf, 2.04

**Gf:**



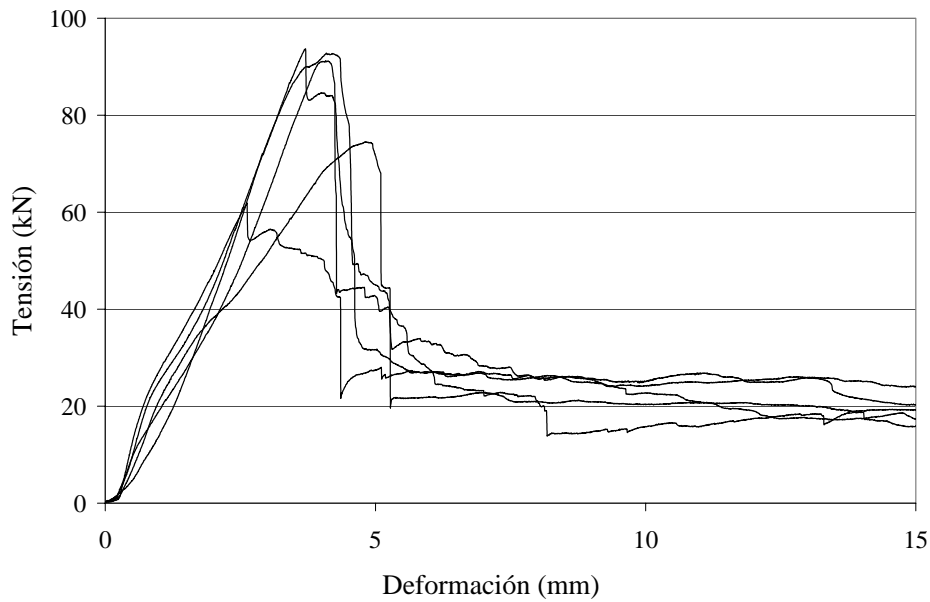
### Curvas $\sigma - \varepsilon$ del Grupo $G^{M2}$

El grupo consta de un solo conjunto de probetas reforzadas en dos caras con una capa de compuesto de tejido de fibra de vidrio, con orientación de las fibras resistentes dispuesta en  $\angle = 45^\circ$  respecto a las juntas de mortero.

**Conjunto,**  
 $\sigma_n (N/mm^2)$

**Ge, 0.51**

**Ge:**



### Curvas $\sigma - \varepsilon$ del Grupo $G^{M3}$

El grupo consta de cuatro conjuntos de probetas reforzadas en dos caras con una capa de compuesto de tejido de fibra de vidrio, con orientación de fibras resistentes dispuesta en  $\angle = 90^\circ$  respecto a las juntas de mortero.

**Conjunto,**  
 $\sigma_n (N/mm^2)$

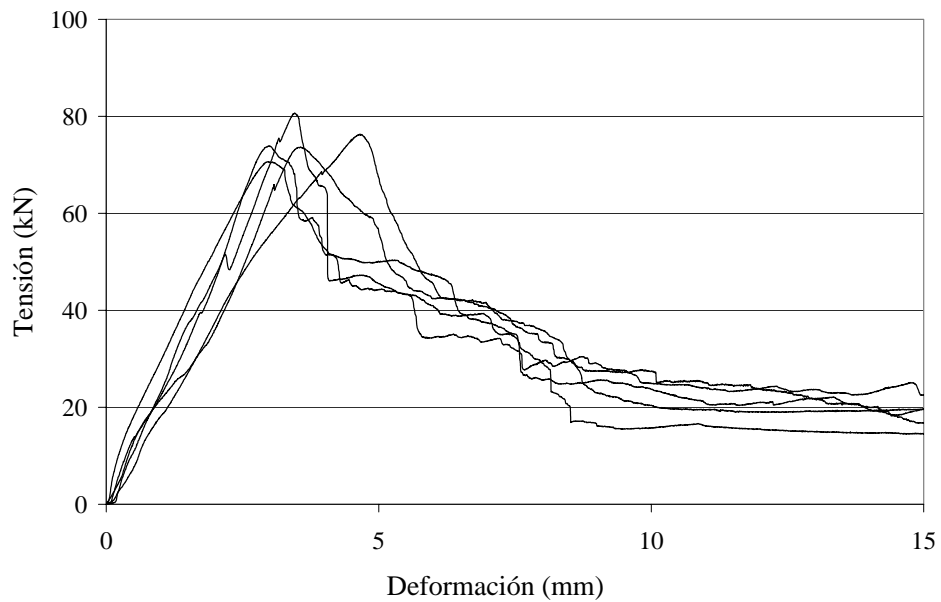
**Gc, 0.51**

**Gc1, 1.02**

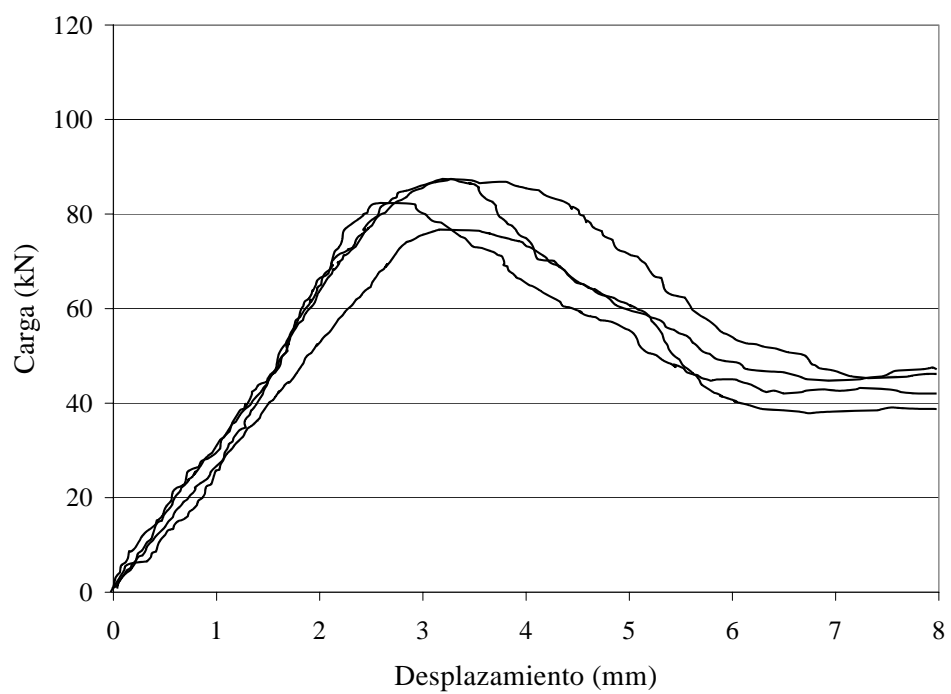
**Gc2, 1.53**

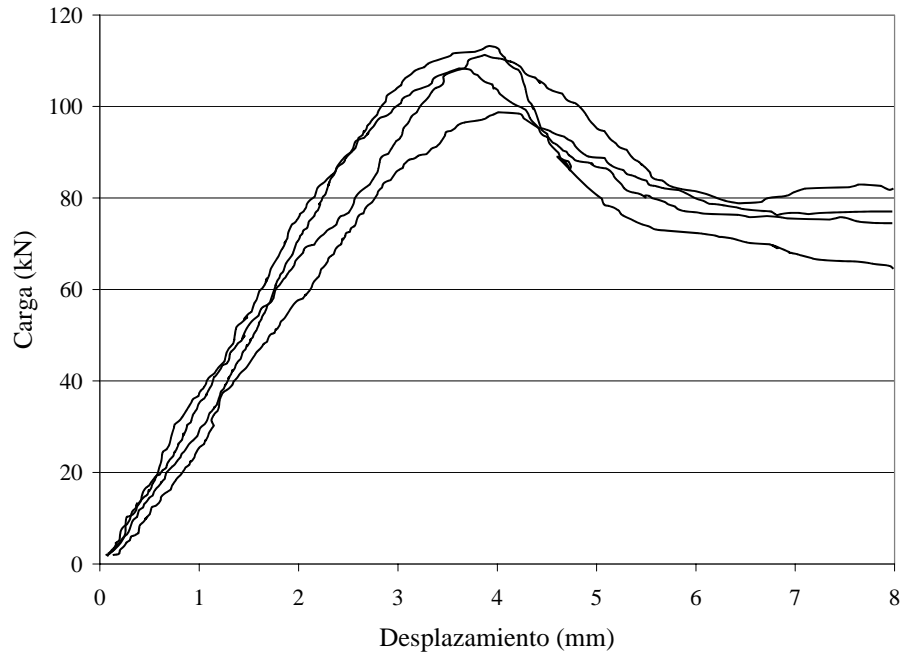
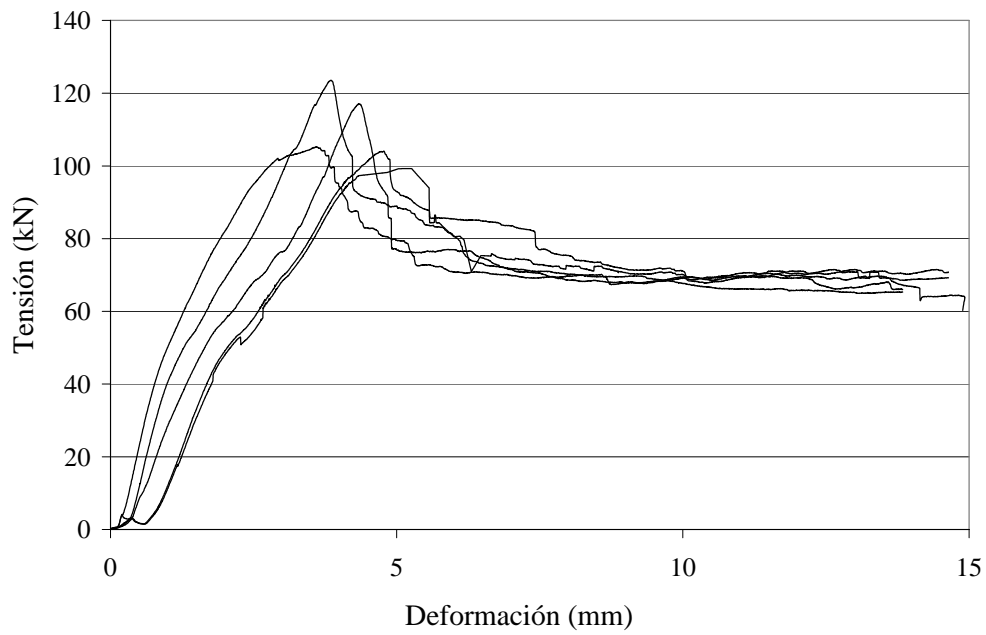
**Gd, 2.04**

**Gc:**



**Gc1:**



**Gc2:****Gd:**

**Curvas  $\sigma - \varepsilon$  del Grupo A<sup>M</sup>**

El grupo consta de cuatro conjuntos de probetas, reforzadas en una cara con una capa de compuesto de tejido de fibra de aramida, con orientación de fibras resistentes dispuesta en  $\angle 90^\circ$  respecto a las juntas de mortero.

**Conjunto,**  
 **$\sigma_n$  (N/mm<sup>2</sup>)**

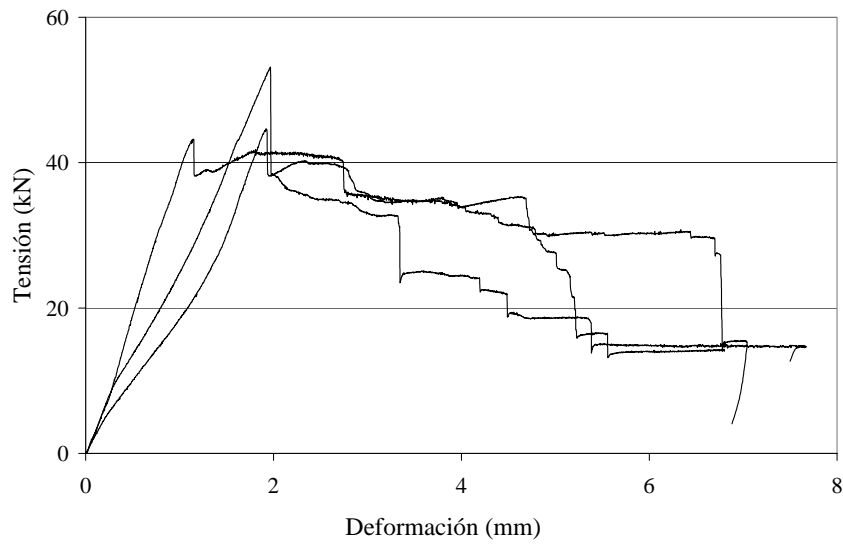
**Aa, 0.51**

**Ab, 1.02**

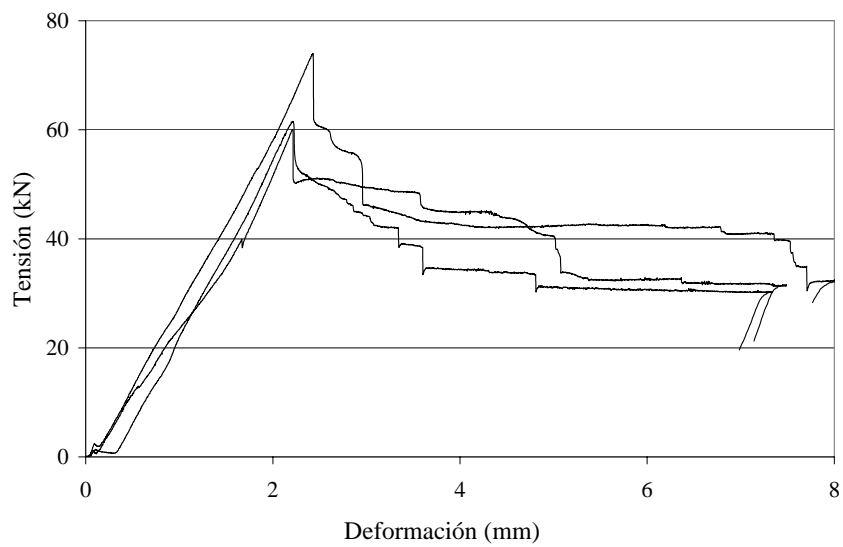
**Ac, 1.53**

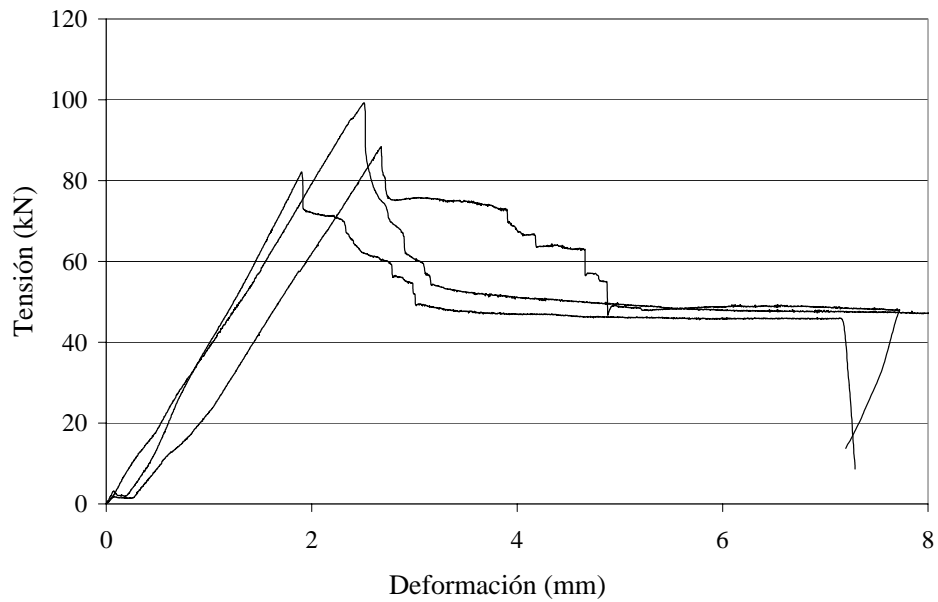
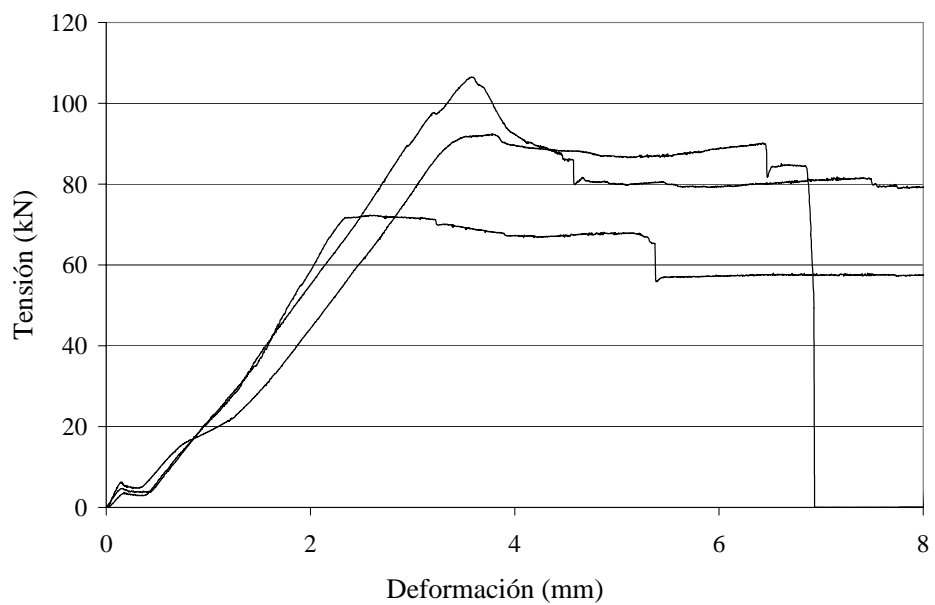
**Ad, 2.04**

**Aa:**



**Ab:**



**Ac:****Ad:**



**Curvas  $\sigma - \varepsilon$  del Grupo  $M^{MI}$**

El grupo consta de tres conjuntos de probetas reforzadas en una cara con una capa de enchapado de madera microlaminada, con orientación de fibras resistentes dispuesta en  $\angle 45^\circ$  respecto a las juntas de mortero.

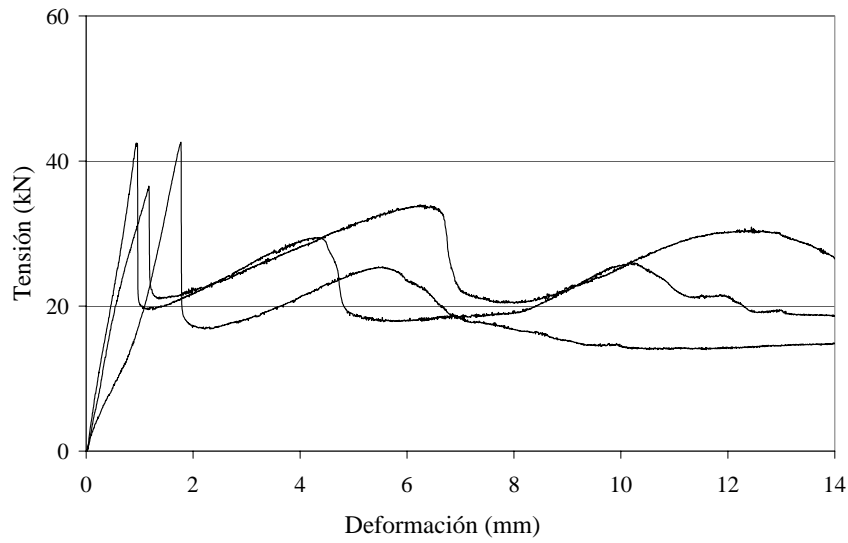
**Conjunto,**  
 **$\sigma_n$  (N/mm<sup>2</sup>)**

**Ma, 0.51**

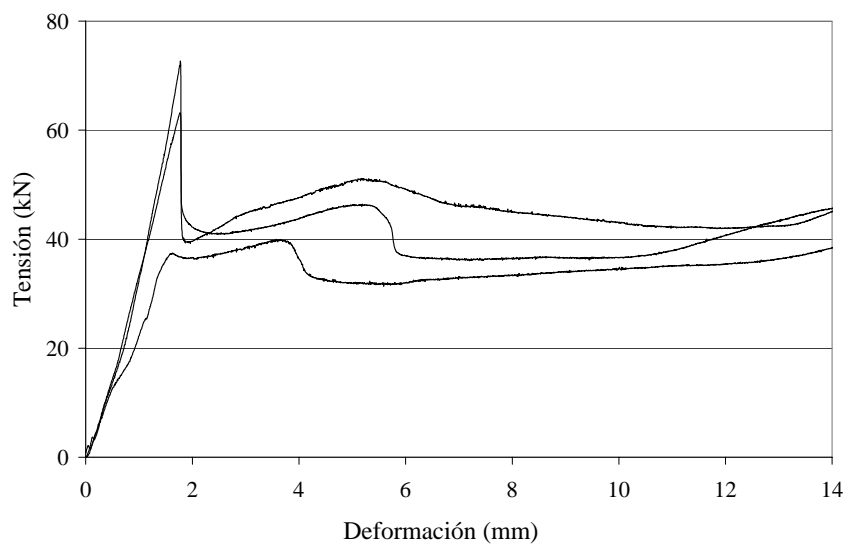
**Mb, 1.02**

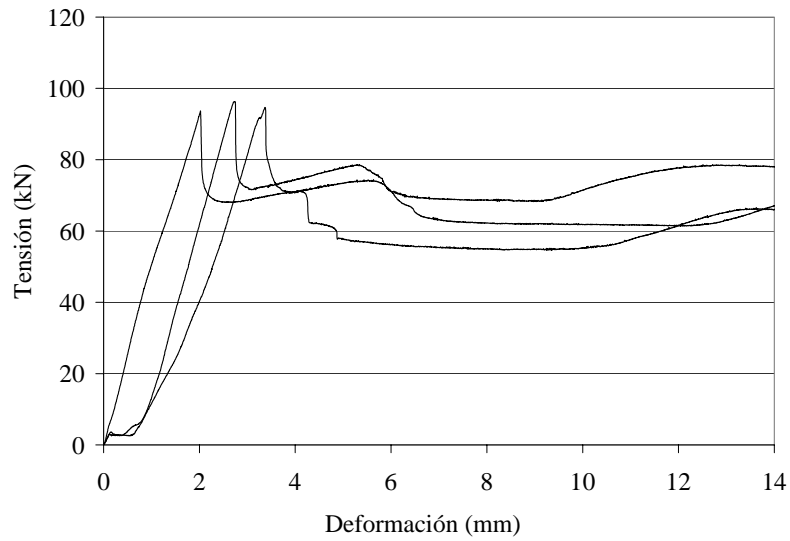
**Mc, 2.04**

**Ma:**



**Mb:**



**Mc:****Curvas  $\sigma - \varepsilon$  del Grupo C<sup>MI</sup>**

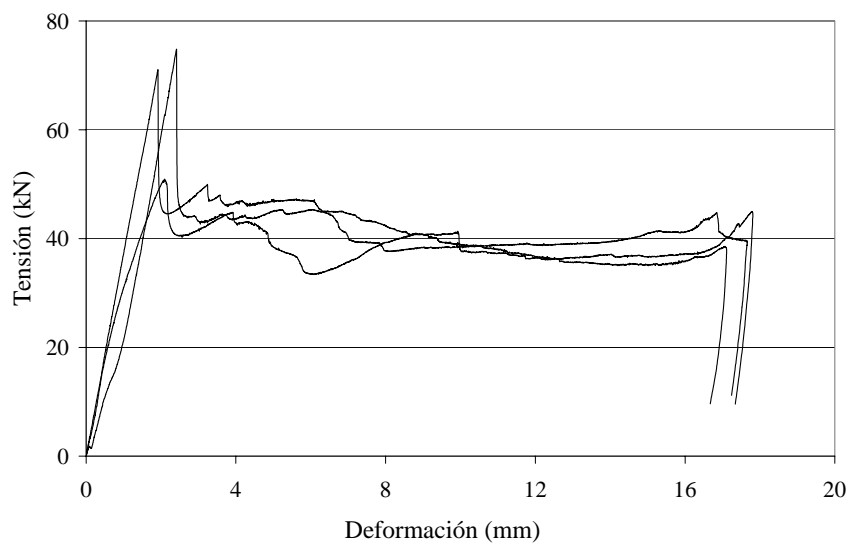
El grupo consta de tres conjuntos de probetas, reforzadas en una cara con una baldosa cerámica.

Conjunto,  
 $\sigma_n (N/mm^2)$

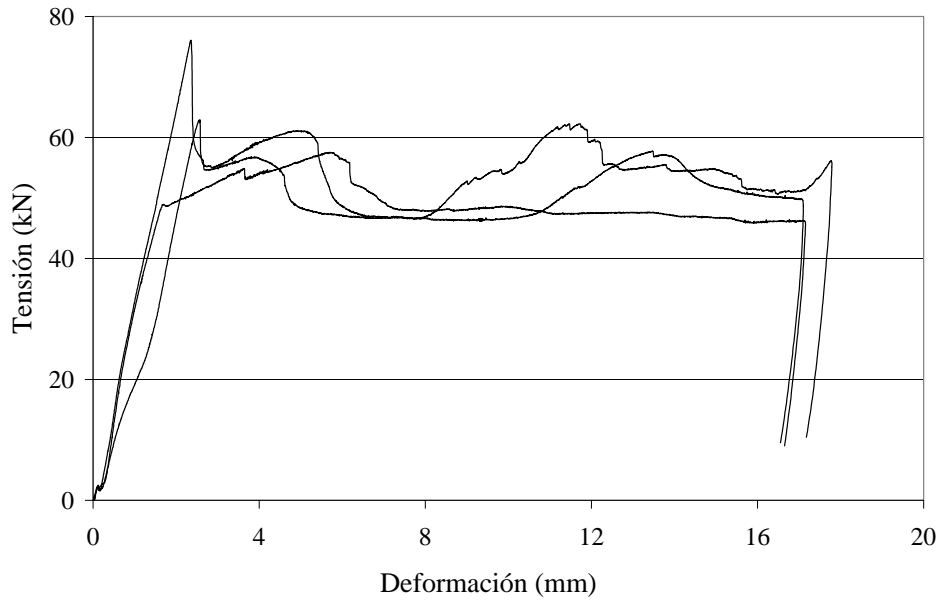
Ca, 1.02

Cb, 1.53

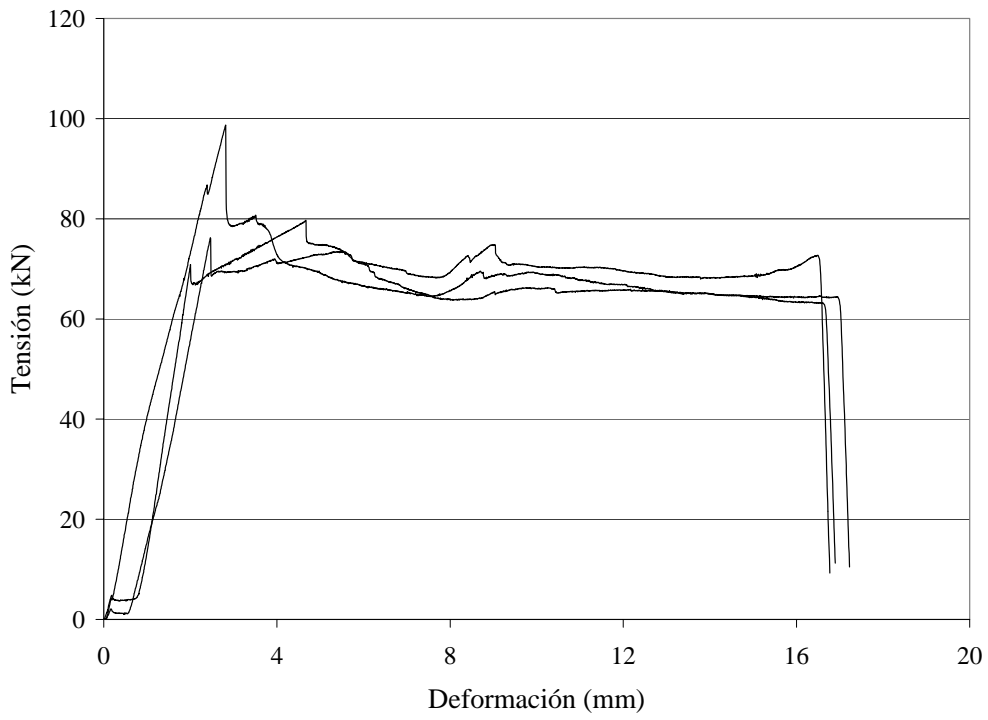
Cc, 2.04

**Ca:**

**Cb:**



**Cd:**



**Curvas  $\sigma - \varepsilon$  del Grupo S<sup>C</sup>**

Probetas sin refuerzo, Consta de cuatro conjuntos de probetas no reforzadas, con los que se caracterizan resistencias y modos de fallo bajo cuatro niveles de tensión normal.

**Conjunto,**  
 **$\sigma_n$  (N/mm<sup>2</sup>)**

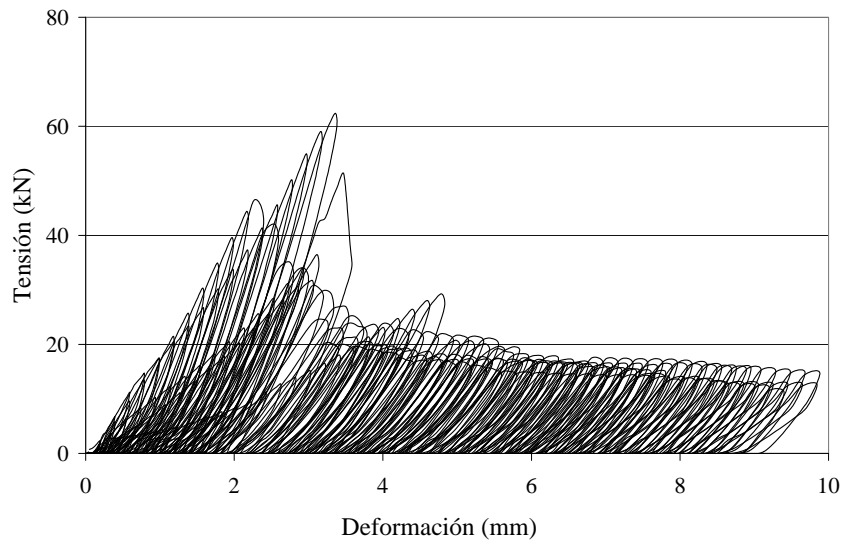
**Se, 0.51**

**Si, 1.02**

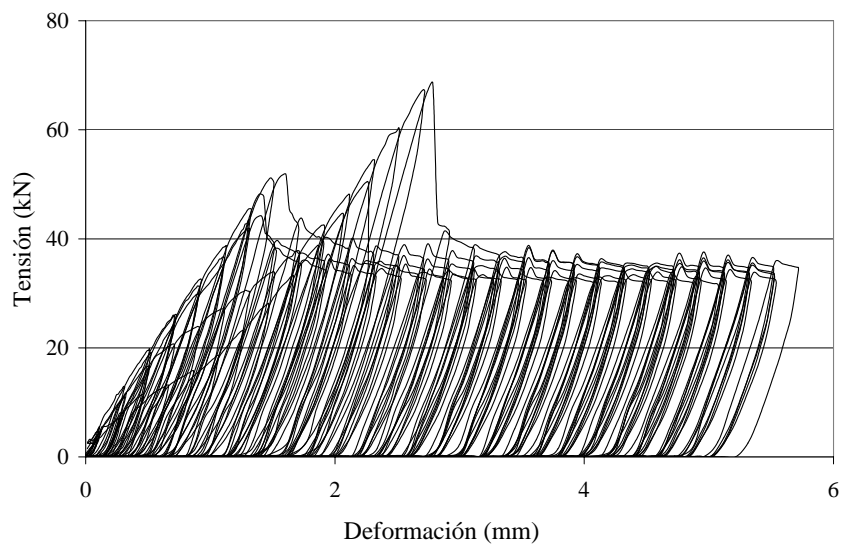
**Sj, 1.53**

**Sf, 2.04**

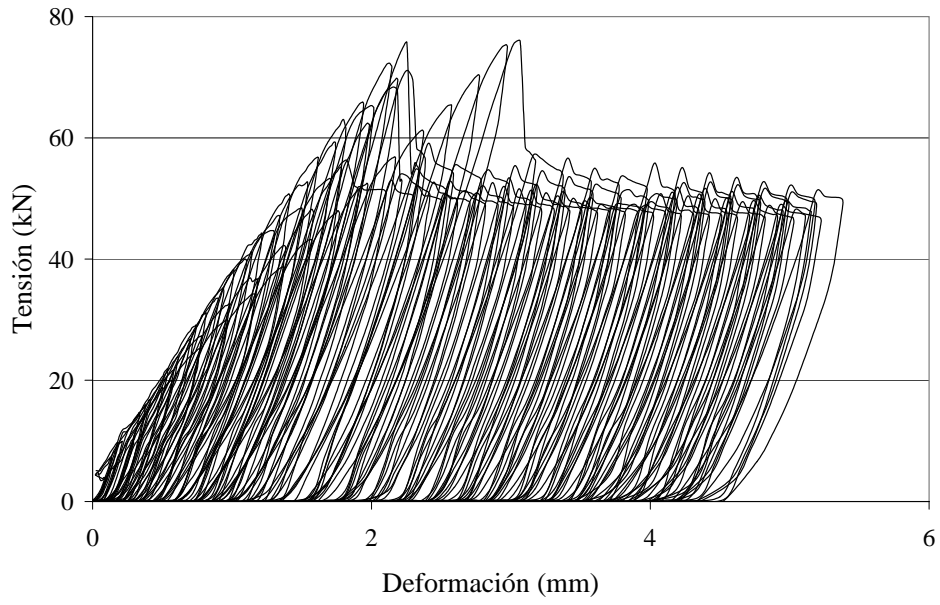
**Se:**



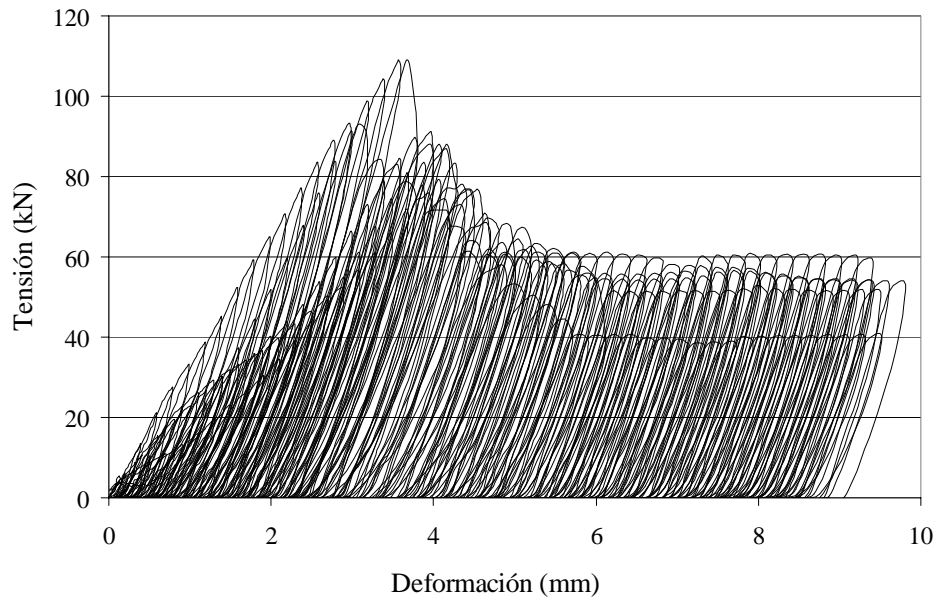
**Si:**



*Sj:*



*Sf:*



**Curvas  $\sigma - \varepsilon$  del Grupo  $G^{CI}$** 

El grupo consta de cuatro conjuntos de probetas reforzadas con una capa de compuesto de fibra de vidrio, aplicado en una cara, con orientación de las fibras resistentes dispuesta en  $\angle = 45^\circ$  respecto a las juntas de mortero.

**Conjunto,**  
 **$\sigma_n$  (N/mm<sup>2</sup>)**

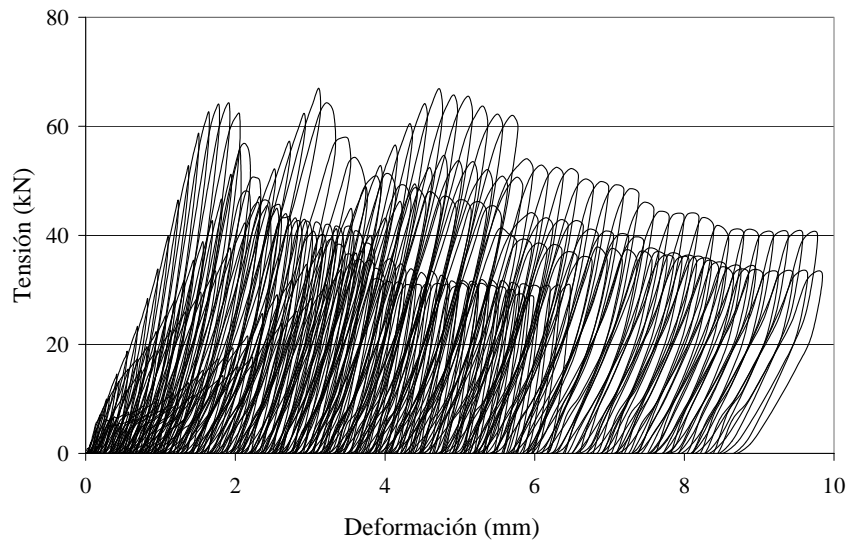
**Gg, 0.51**

**Gi, 1.02**

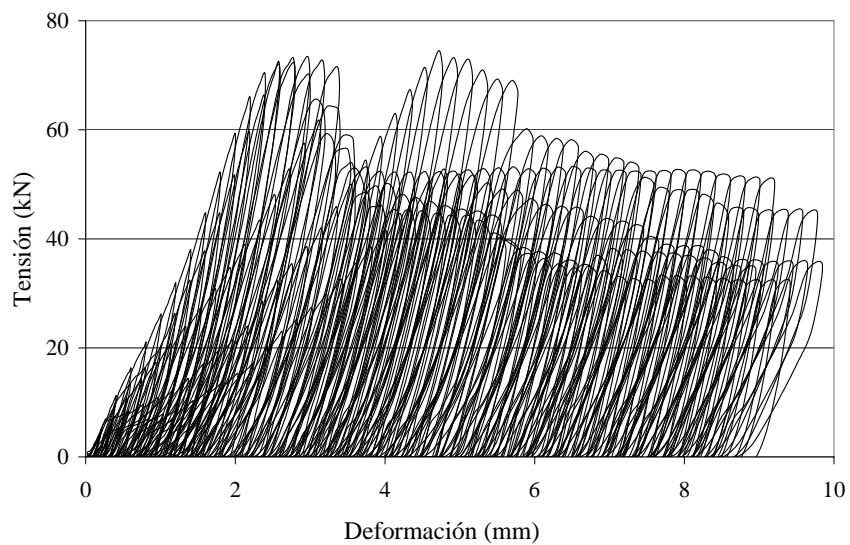
**Gj, 1.53**

**Gh, 2.04**

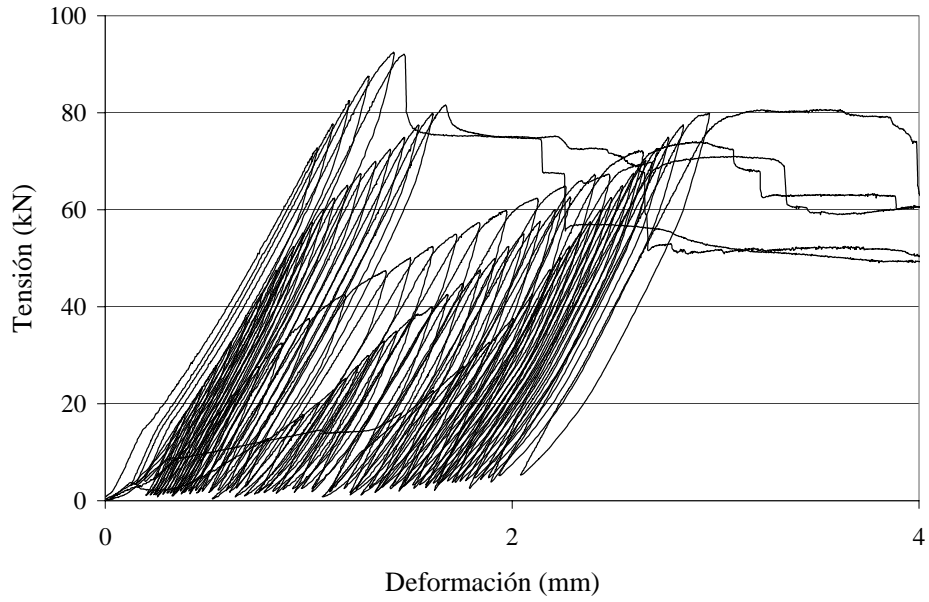
**Gg:**



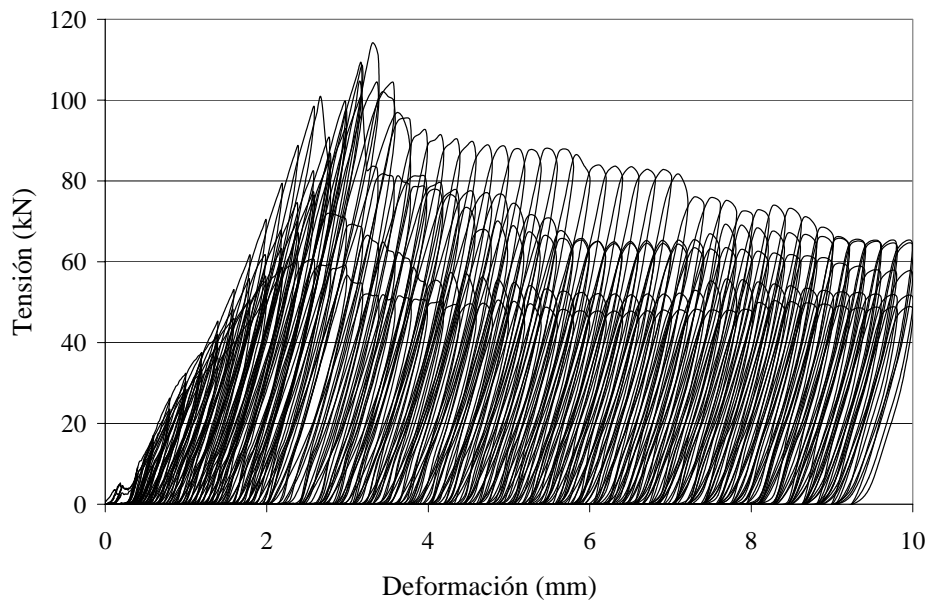
**Gi:**



**Gj:**



**Gh:**



**Curvas  $\sigma - \varepsilon$  del Grupo  $G^{C3}$** 

Consta de tres conjuntos de probetas reforzadas con compuesto de fibra de vidrio, aplicado en una cara y en una capa, con orientación de las fibras resistentes dispuesta en  $\angle = 90^\circ$  respecto a las juntas de mortero.

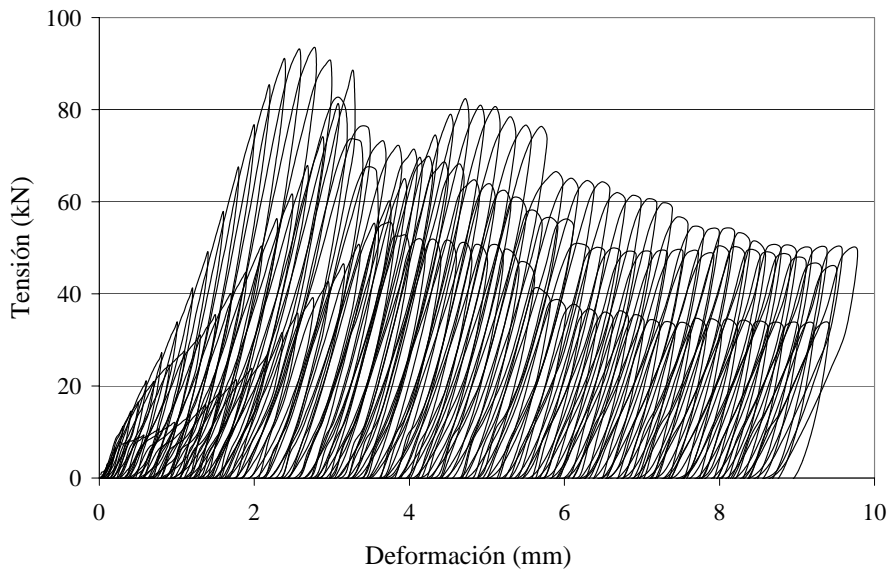
**Conjunto,**  
 **$\sigma_n$  (N/mm<sup>2</sup>)**

**Gk, 1.02**

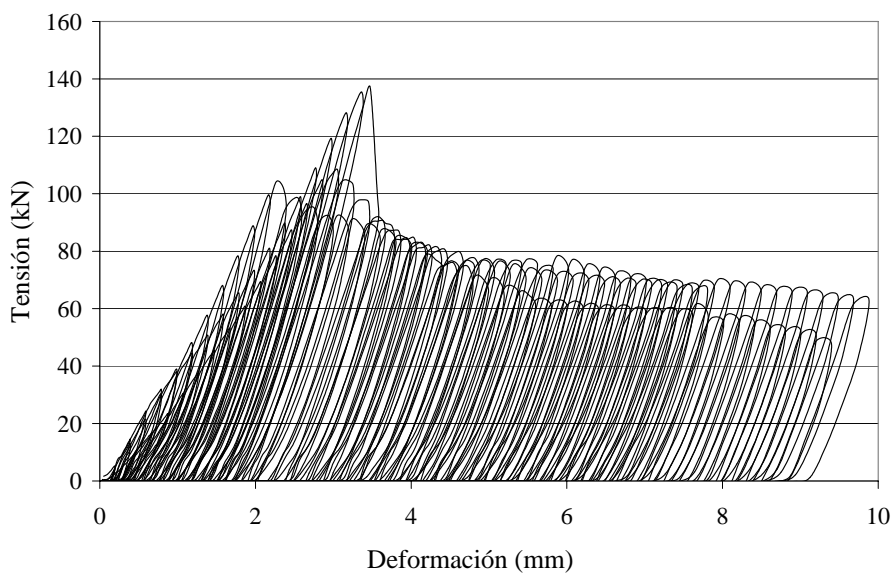
**Gl, 1.53**

**Gm, 2.04**

**Gk:**

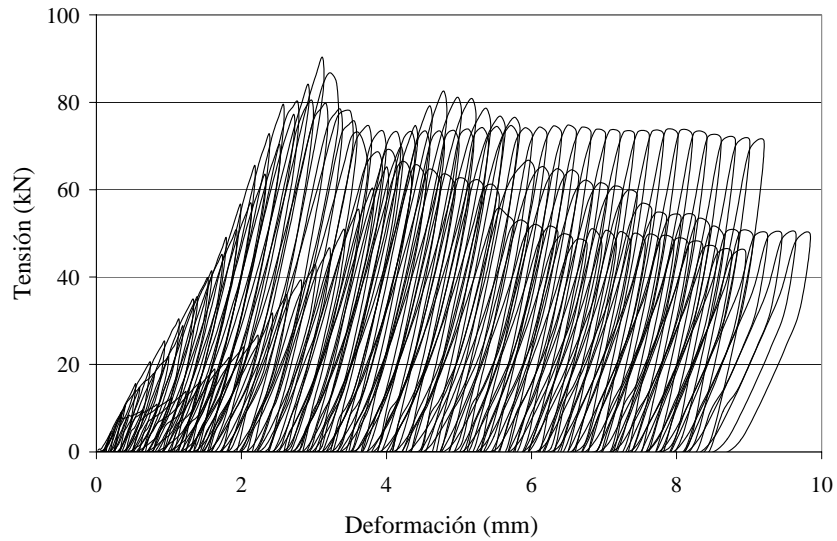


**Gl:**





**Gm:**



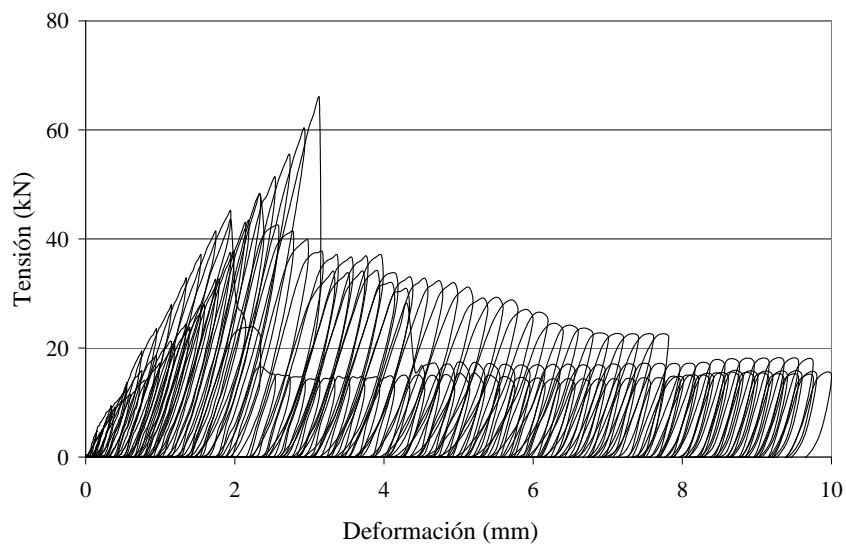
**Curvas  $\sigma - \varepsilon$  del Grupo A<sup>CI</sup>**

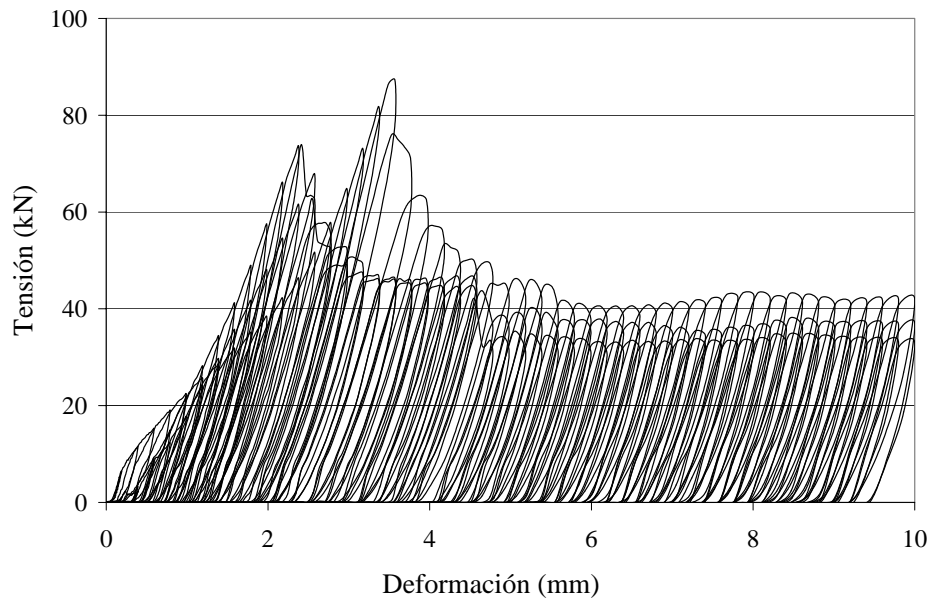
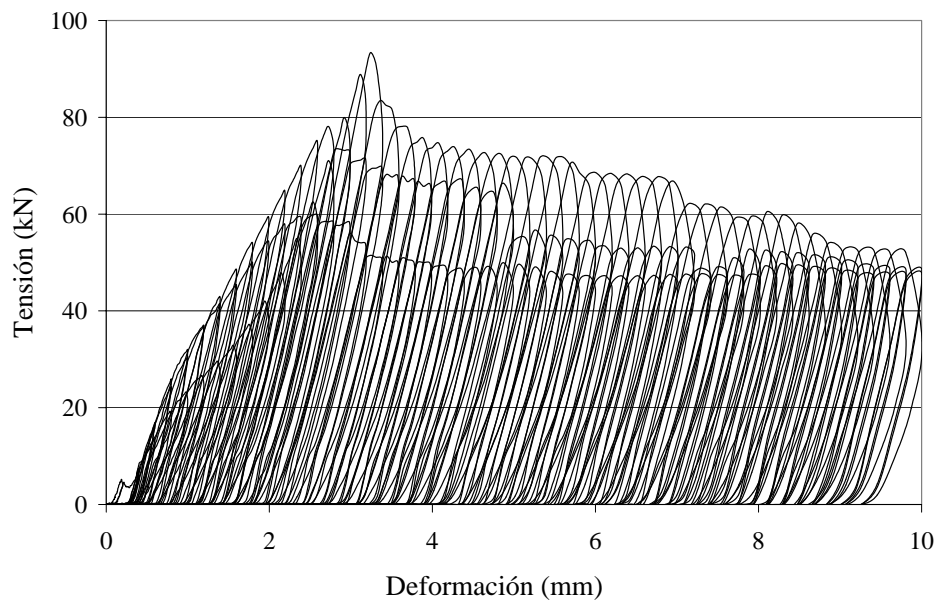
Consta de cuatro conjuntos de probetas reforzadas con compuesto de fibra de aramida, aplicado en una cara y en una capa, con orientación de las fibras resistentes perpendicular respecto a las juntas de mortero.

**Conjunto,**  
 **$\sigma_n$  (N/mm<sup>2</sup>)**

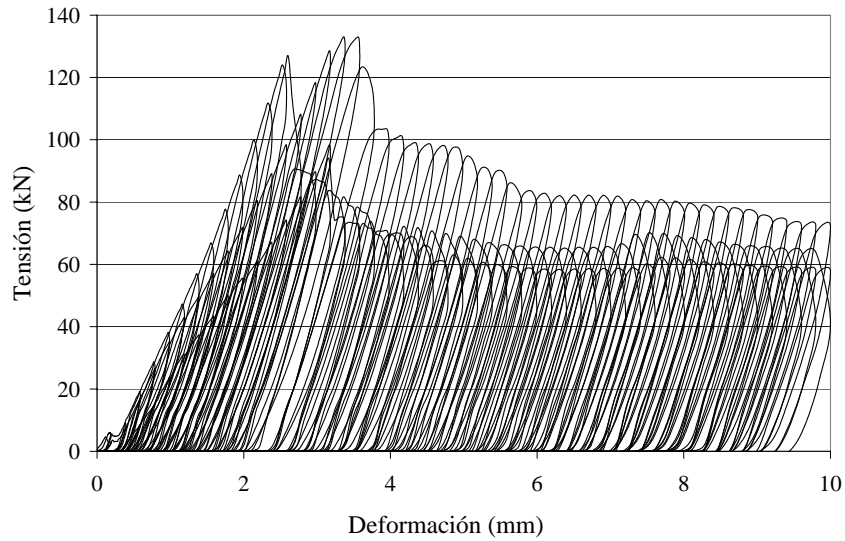
- Ae, 0.51**
- Af, 1.02**
- Ag, 1.53**
- Ah, 2.04**

**Ae:**



*Af:**Ag:*

**Ah:**



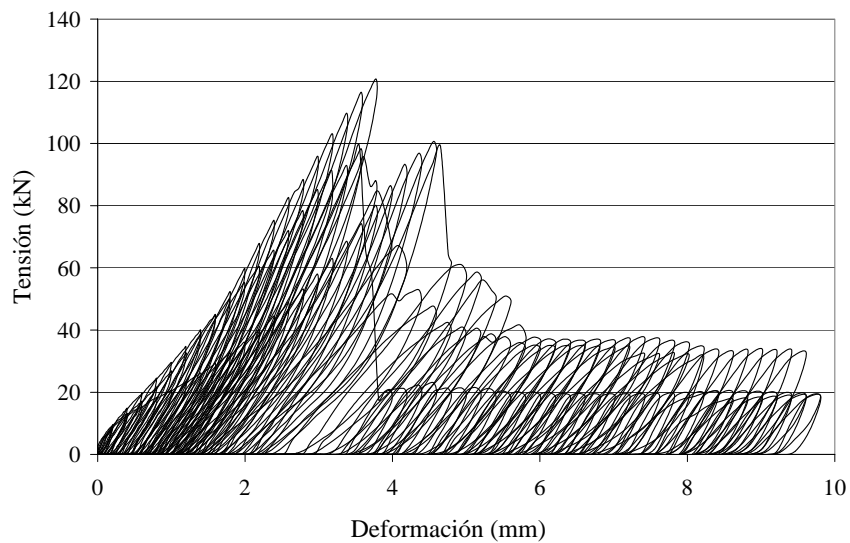
**Curvas  $\sigma - \varepsilon$  del Grupo A<sup>C2</sup>**

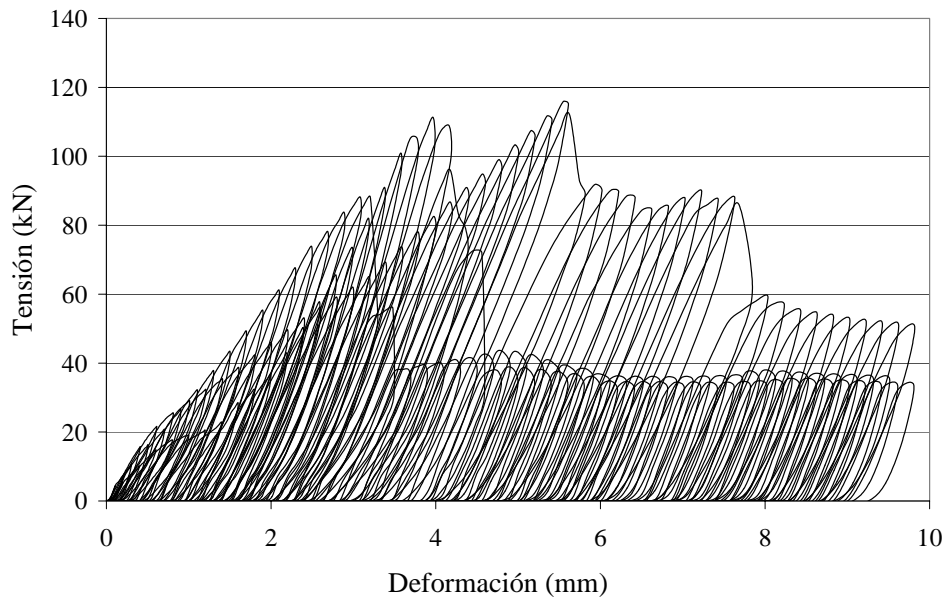
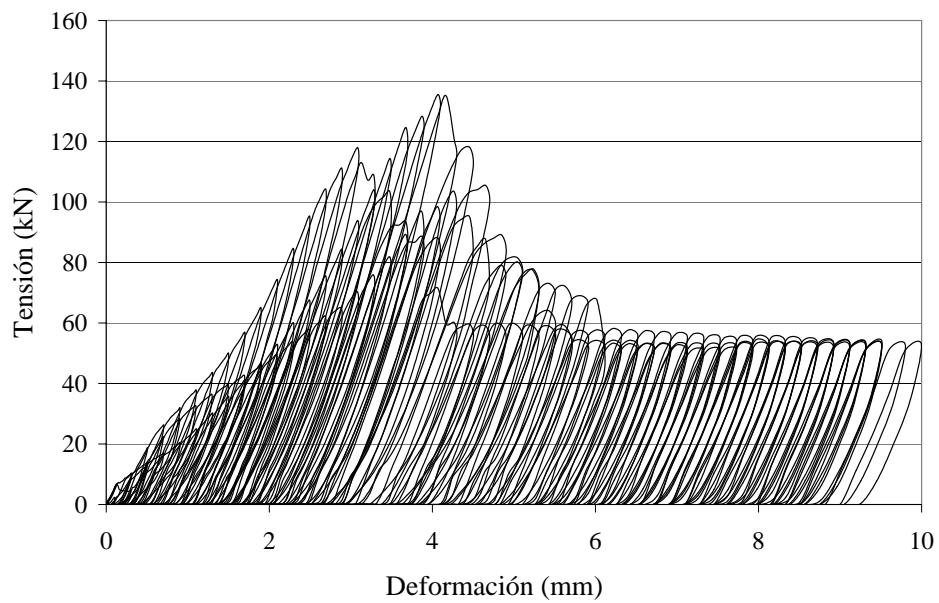
Consta de cuatro conjuntos de probetas reforzadas con compuesto de fibra de aramida, aplicado en dos caras y dos capas, con orientación de las fibras resistentes en  $\angle = 90^\circ$  respecto a las juntas de mortero.

**Conjunto,**  
 **$\sigma_n$  (N/mm<sup>2</sup>)**

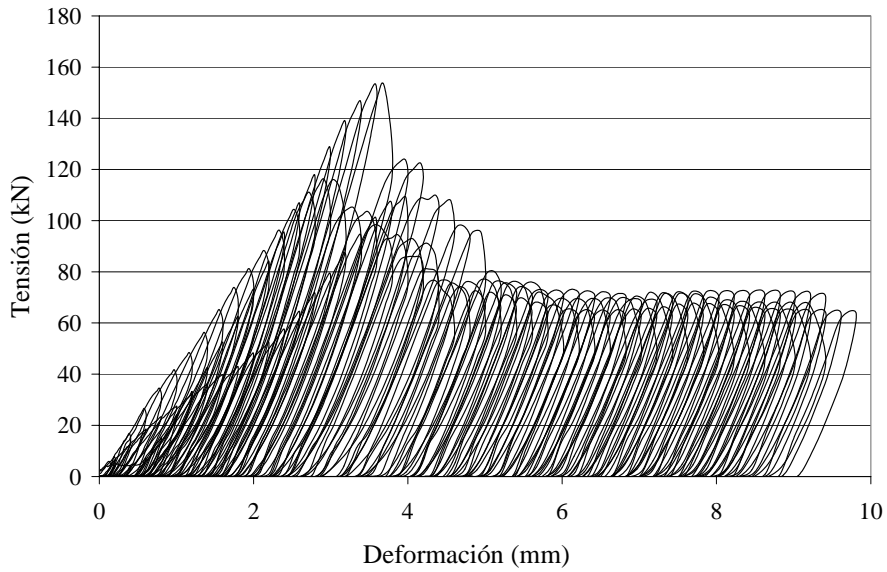
- Ai, 0.51**
- Aj, 1.02**
- Ak, 1.53**
- Al, 2.04**

**Ai:**



**Aj:****Ak:**

**Al:**



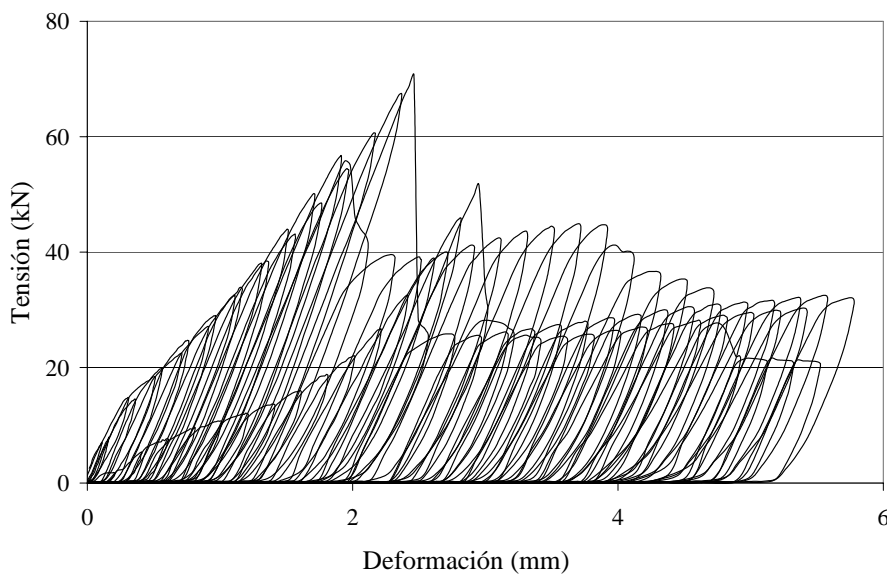
**Curvas  $\sigma - \varepsilon$  del Grupo  $M^{C1}$**

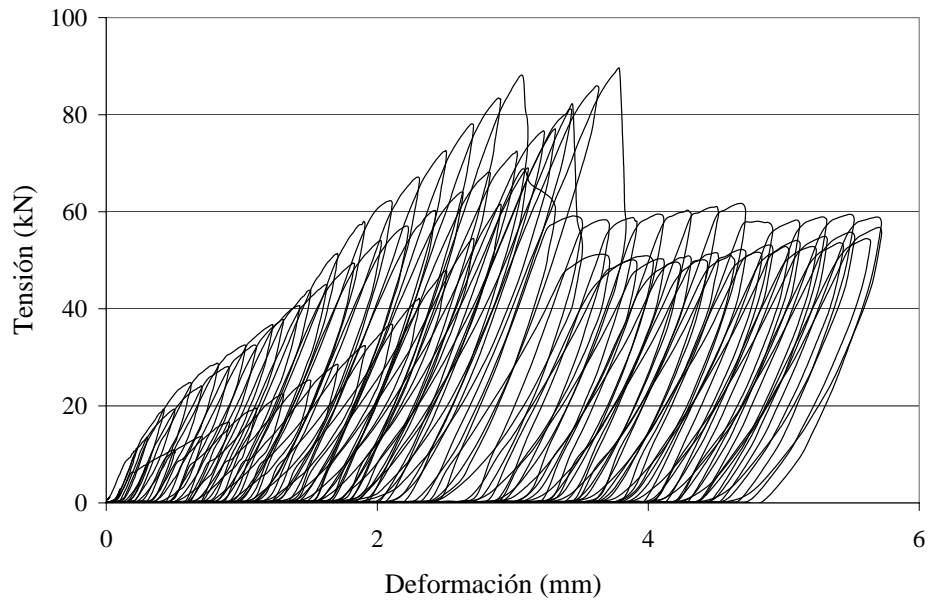
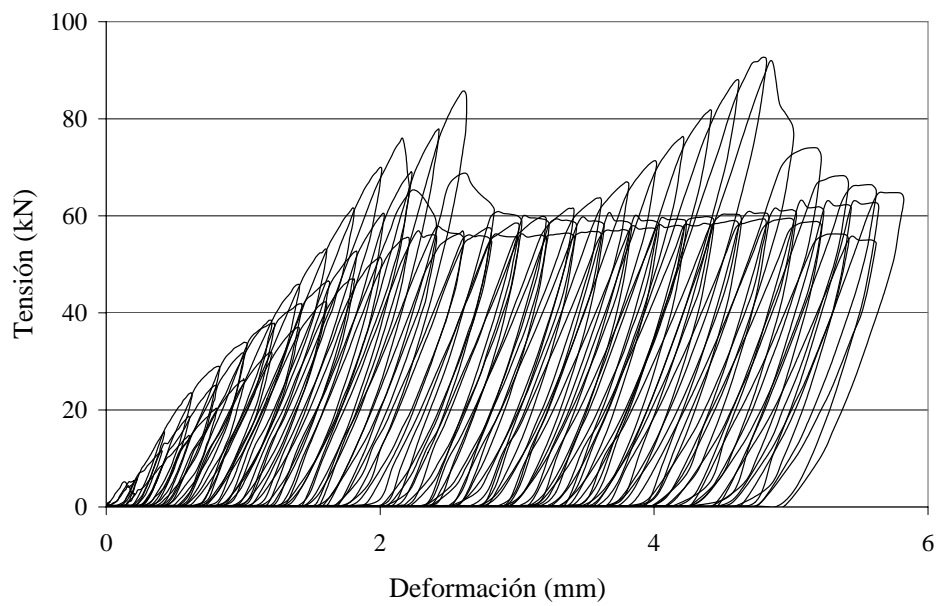
Consta de tres conjuntos de probetas reforzadas con enchapado de madera micro-laminada, aplicado en una cara y en una capa, con una orientación de las fibras resistentes en  $\angle = 45^\circ$  respecto a las juntas de mortero.

**Conjunto,**  
 $\sigma_n (N/mm^2)$

**Md, 0.51**  
**Me, 1.02**  
**Mf, 1.53**

**Md:**



***Me:******Mf:***

**Curvas  $\sigma - \varepsilon$  del Grupo  $C^{CI}$**

Consta de cuatro conjuntos de probetas reforzadas con embaldosado cerámico aplicado en una cara.

**Conjunto,**  
 **$\sigma_n$  (N/mm<sup>2</sup>)**

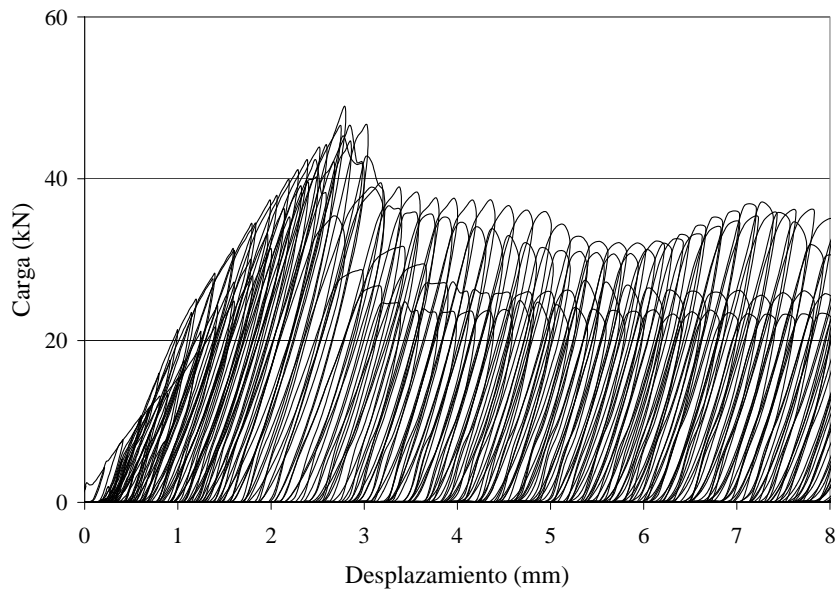
**Cc1, 0.51**

**Cd, 1.02**

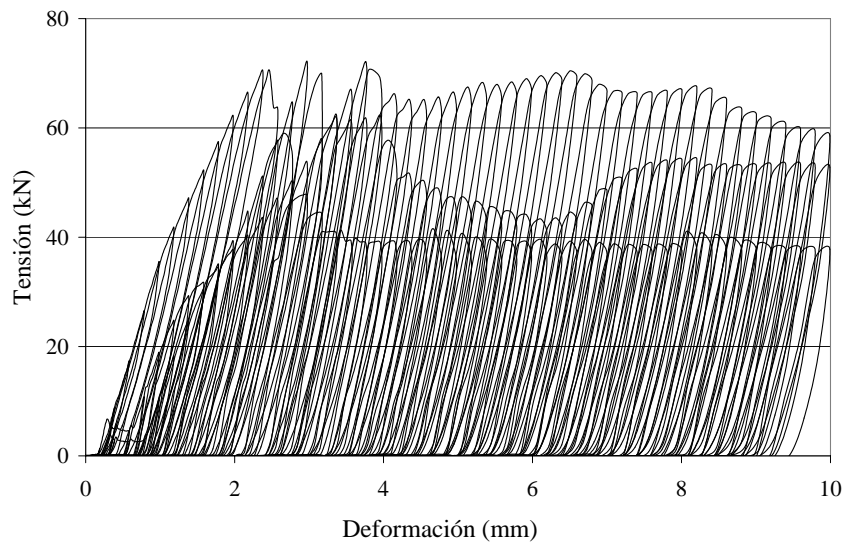
**Ce, 1.53**

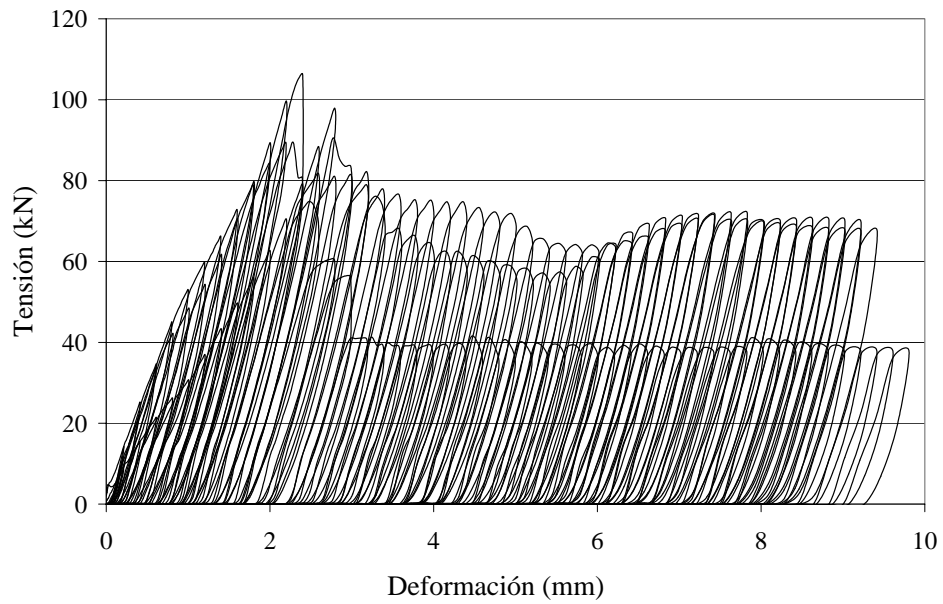
**Cf, 2.04**

**Cc1:**



**Cd:**



*Ce:**Cf:*