

FRP TRAINING COURSE

MODULO 5: REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

Ing. Giorgio Giacomini G&P Intech - Italy

PhD. Jaime Gonzalez University of Padua – Italy

Ing. Carlo Perinelli G&P Intech – Italy

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)



CONTENIDO

MODULO 1 INTRODUCCIÓN

- Necesidad de reforzamiento
- Qué son los materiales FRP?
- Propiedades mecánicas
- Introducción a la normativa

05/02/2018

MODULO 2 ADHERENCIA Y FLEXIÓN

- Modos de falla
- Adherencia al substrato
- Reforzamiento a flexión
- Resultados de pruebas experimentales

05/02/2018

MODULO 3 CORTANTE

- Configuraciones de reforzamiento
- Modos de falla
- Diseño a cortante
- Resultados de pruebas experimentales

05/02/2018

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)



CONTENIDO

MODULO 4 CONFINAMIENTO Y REFORZAMIENTO SÍSMICO

- Confinamiento
- Resultados de pruebas experimentales
- Daños típicos en caso de sismo
- FRP en zonas sísmicas

06/02/2018

MODULO 5 REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

- Aplicaciones del FRP en mampostería
- Consideraciones de diseño
- Adherencia
- Diseño

06/02/2018

MODULO 6 NUEVAS TECNOLOGÍAS (FRCM)

- Què son los materiales FRCM?
- Adherencia
- Diseño a flexión
- Diseño a cortante
- Confinamiento

06/02/2018

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)



CONTENIDO

MODULO 7 PROCEDIMIENTO DE APLICACIÓN

- Preparación de la superficie/sustrato
 - Procedimiento de aplicación
 - Control y monitoreo
- 07/02/2018**

MODULO 8 INFORMACIÓN BÁSICA SOBRE LOS MATERIALES

- Información técnica sobre los materiales FRP y FRCM disponibles en G&P INTECH
- 07/02/2018**

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)



REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

- El objetivo primario del reforzamiento FRP es incrementar la resistencia de la estructura de la mampostería. Cuando sea posible, se recomienda también el mejoramiento del desplazamiento de la estructura al momento de la falla.
- Las aplicaciones de reforzamiento siempre estarán relacionadas al comportamiento total de la estructura consolidada
- El diseño del refuerzo FRP asegurará que el sistema seleccionado esté siempre en tracción
- En estructuras de mampostería reforzada con FRP y sujetas a cargas cíclicas (por ejemplo, sísmicas, variaciones térmicas), la adhesión entre mampostería y FRP puede degradarse notablemente durante el tiempo de vida de la estructura
- El reforzamiento será aplicado a elementos estructurales que tienen propiedades mecánicas adecuadas
- El refuerzo FRP que envuelve completamente al elemento reforzado puede prevenir absorción de humedad

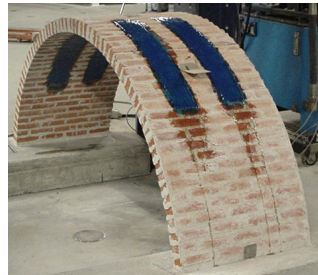
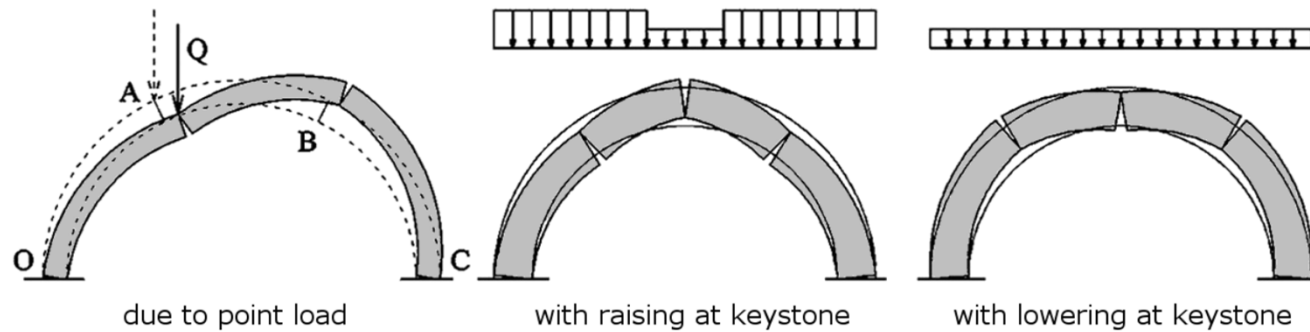
Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)



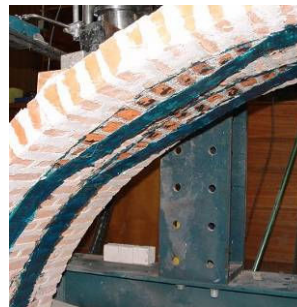
REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

El reforzamiento FRP puede ser empleado por las siguientes razones:

- Aumento de la resistencia en muros, arcos y bóvedas;



(a)



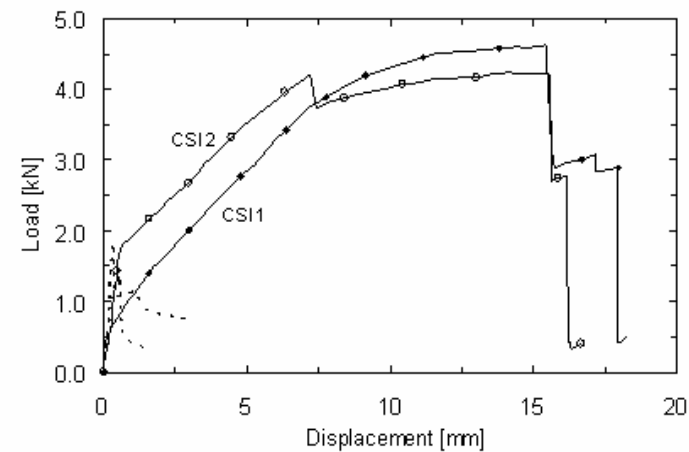
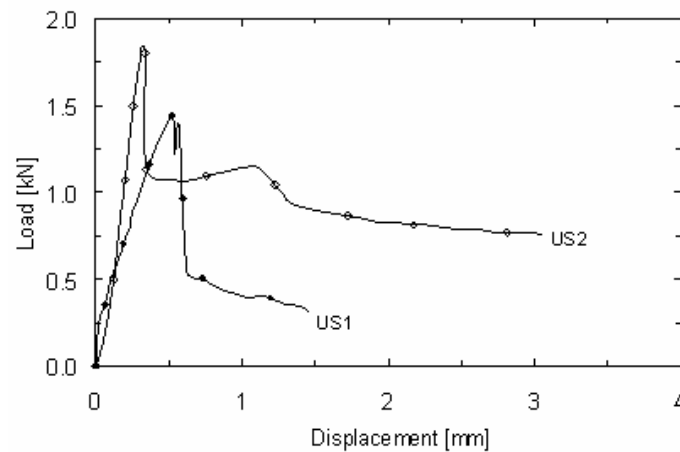
• Lourenco y Oliveira, 2014

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

El reforzamiento FRP puede ser empleado por las siguientes razones:

- Aumento de la resistencia en paneles, arcos y bóvedas;



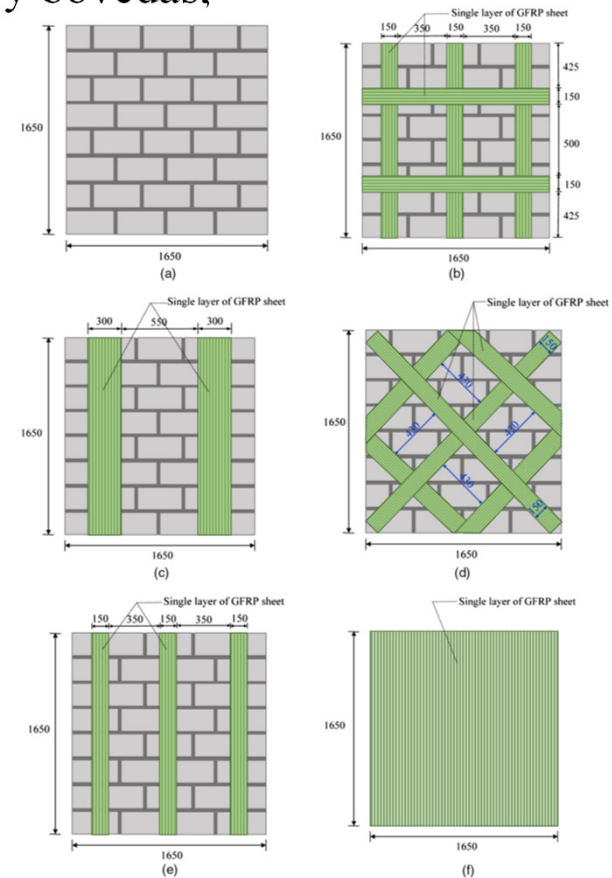
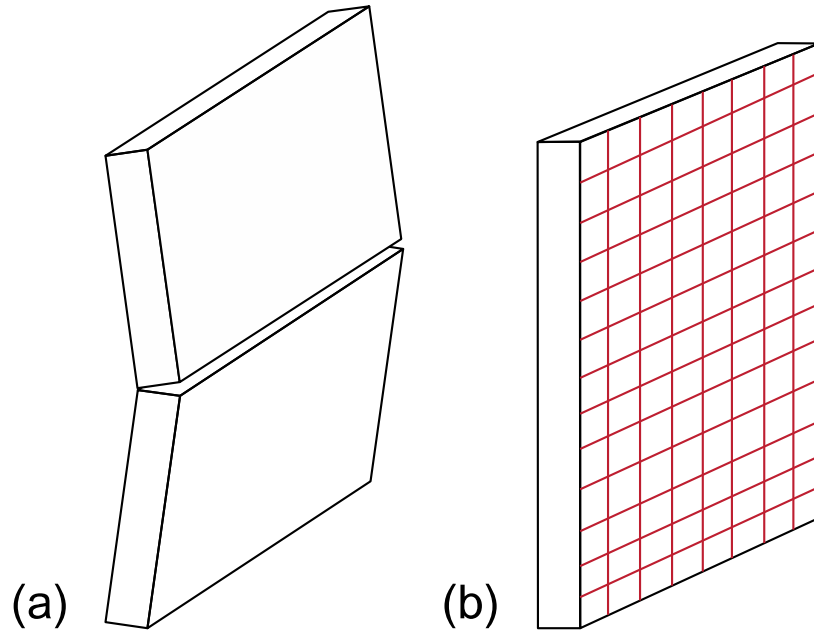
- Lourenco y Oliveira, 2014

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

El reforzamiento FRP puede ser empleado por las siguientes razones:

- Aumento de la resistencia en paneles, arcos y bóvedas;



. Details of test walls: (a) Wall WC; (b) Wall W1; (c) Wall W2; (d) Wall W3; (e) Wall W4; (f) Wall W5 (note: all dimensions are in mm)

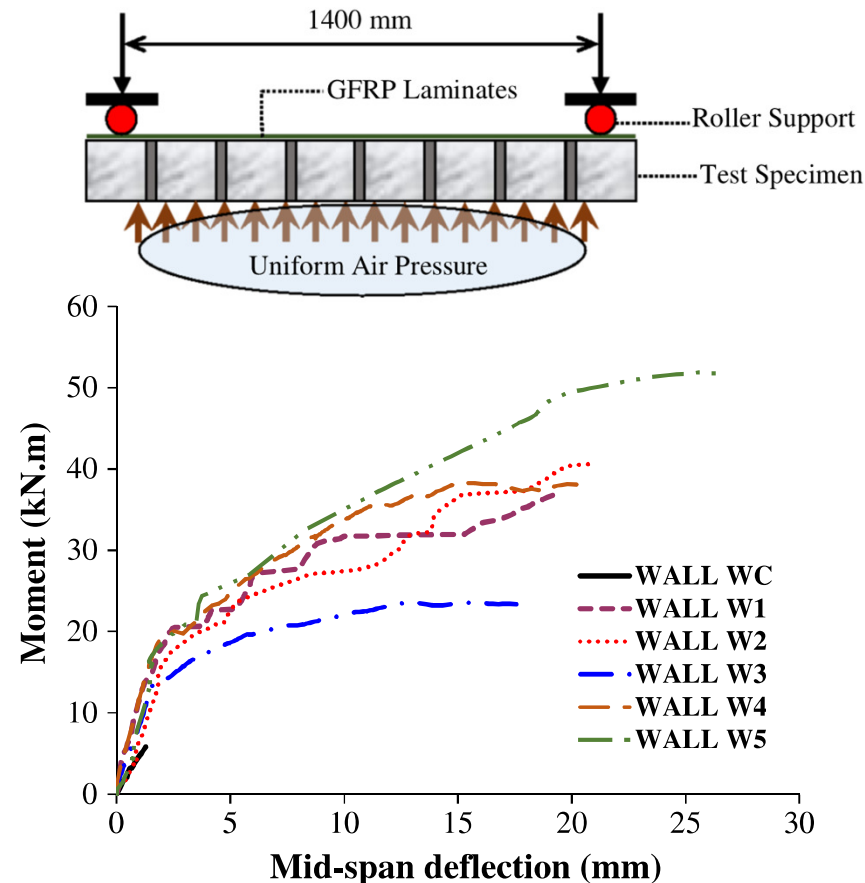
- H. M. Elsanadedy et al., 2015

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

El reforzamiento FRP puede ser empleado por las siguientes razones:

- Aumento de la resistencia en paneles, arcos y bóvedas;

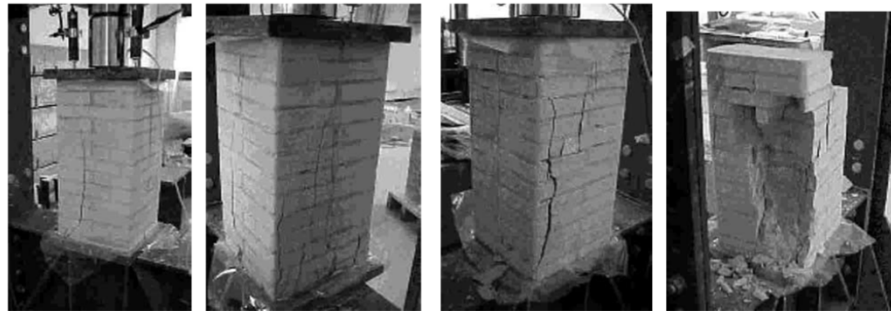


- H. M. Elsanadedy et al., 2015

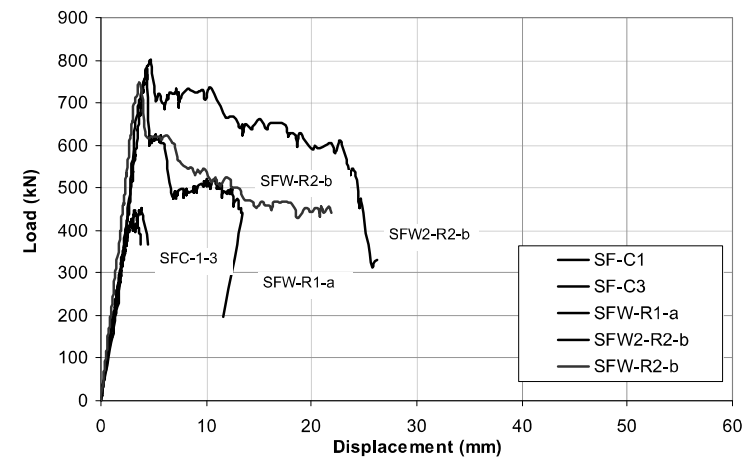
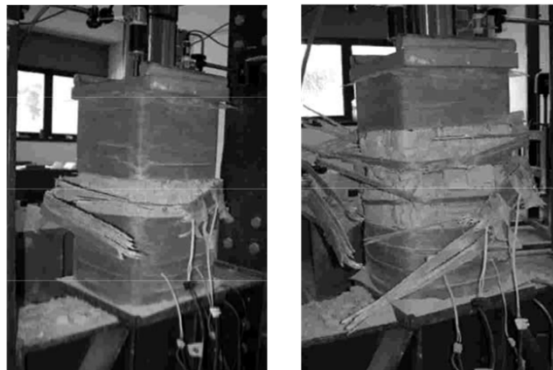
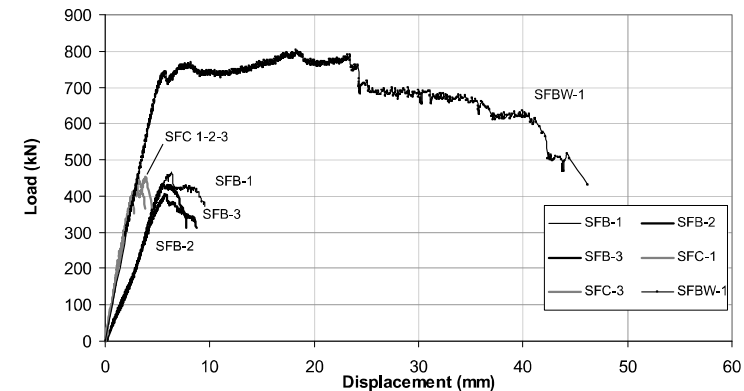
REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

El reforzamiento FRP puede ser empleado por las siguientes razones:

- Confinamiento de columnas con el fin de incrementar la capacidad de compresión y ductilidad;



(a)

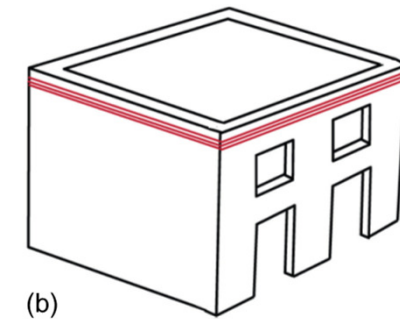
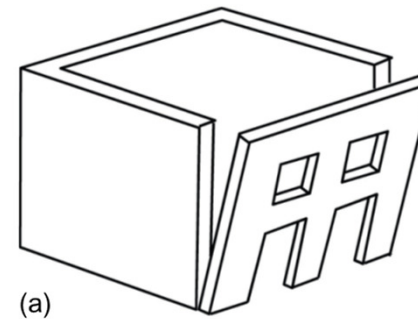


Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

El reforzamiento FRP puede ser empleado por las siguientes razones:

- La conexión entre elementos (bóveda y nudos de pared, conexiones entre paredes ortogonales, etc.)



Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

Modos posibles de falla de los elementos de mampostería reforzados con sistemas FRP pueden ser resumidos como sigue:

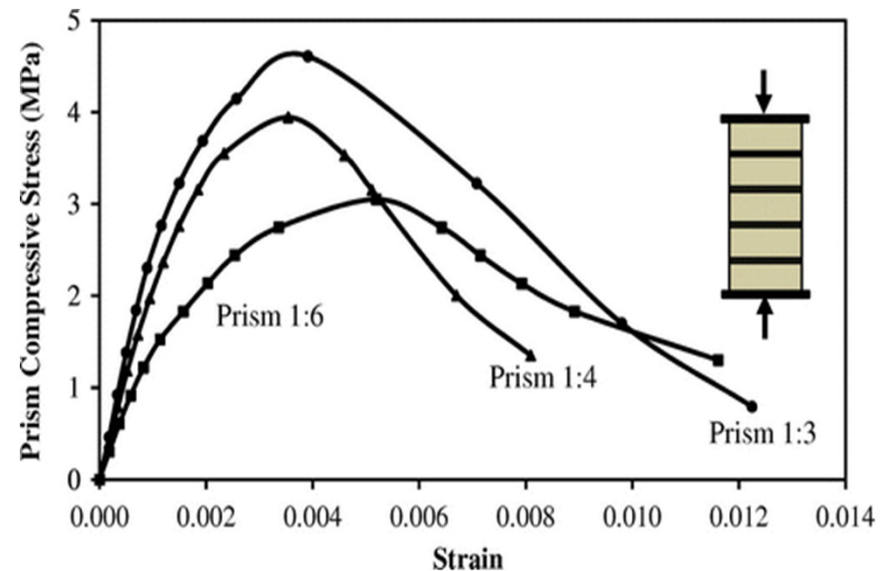
- Excesivo fisuramiento debido a esfuerzos tensionales en la pared;
- Aplastamiento de la mampostería;
- Corte-deslizamiento de la mampostería;
- Ruptura del FRP;
- Despegamiento de FRP.

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)



REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

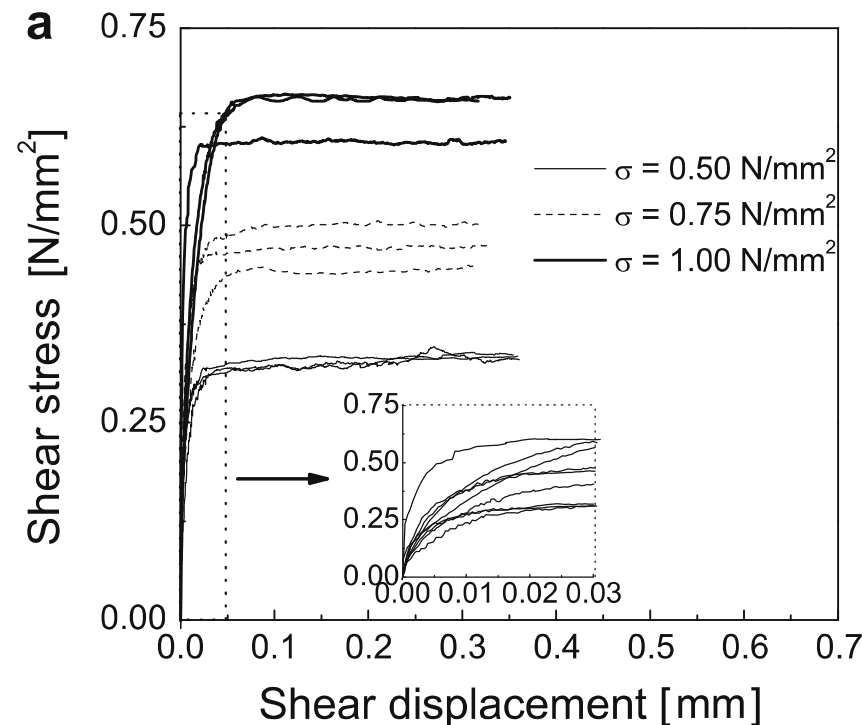
- La mampostería puede ser considerada un material no isotrópico que exhibe un comportamiento no lineal. La relación esfuerzo-deformación unitaria puede variar significativamente dependiendo si la estructura está construida con **bloques artificiales o naturales** así como el tipo de mortero empleado.
- La mampostería exhibe un comportamiento frágil cuando está sujeto a carga de tensión; además, la correspondiente resistencia a la tensión es insignificante comparada con su resistencia a la compresión. Para propósitos de diseño, es aceptado despreciar la resistencia a la tensión de la mampostería.
- El diagrama esfuerzo-deformación unitaria de la mampostería sometida a carga de compresión presenta:
 - valores lineales para deformaciones unitarias pequeñas;
 - no lineal a medida que la carga incrementa hasta el valor máximo;
 - no lineal decreciente para valores mayores a la máxima deformación unitaria, con ablandamiento (softening) por el cual la resistencia del material disminuye.



Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

- El comportamiento de la mampostería por carga de compresión también depende de la disponibilidad del confinamiento transversal. Por el incremento del confinamiento transversal, la fuerza y la ductilidad del material se mejora.
- La resistencia de corte de la mampostería depende de la compresión aplicada que ayuda a la cohesión y fricción del material



• Vasconcelos y Lourenco, 2009

REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

La mampostería en sitio está caracterizada por valores promedio de propiedades mecánicas. En el caso de mampostería con los bloques pegados con mortero, los valores para la resistencia son como sigue:

- resistencia a compresión vertical, f_{mm} ;
 - resistencia a compresión horizontal, f_{mm}^h ;
 - resistencia a corte, f_{vm} .
- Un valor de referencia de f_{mm}^h puede ser asumido como 50% de f_{mm}

Para la mayoría de aplicaciones en ingeniería, la relación esfuerzo-deformación unitaria, para estados de carga monoaxiales, puede ser esquematizada como sigue:

- resistencia a tracción nula;
- compresión: comportamiento lineal hasta la resistencia de diseño, f_{md} , a la cual corresponde el valor ϵ_m de la deformación; tensión nula para deformaciones mayores a aquella última ϵ_{mu} , tensión constante igual a f_{md} para deformaciones unitarias comprendidas entre $\epsilon_m \leq \epsilon \leq \epsilon_{mu}$.

REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

A menos que estén disponibles datos experimentales, la deformación unitaria de diseño última de la mampostería, ϵ_{mu} , puede ser asumida como 0.35%.

Alternativamente, diagramas diferentes de esfuerzo-deformación unitaria que involucren el comportamiento no lineal descrito anteriormente pueden ser usados, si su desarrollo es validado sobre la base de investigaciones experimentales.

La deformación unitaria máxima de diseño permitido al sistema FRP será expresado como sigue:

$$\epsilon_{fd} = \min \left\{ \eta_a \cdot \frac{\epsilon_{fk}}{\gamma_f}, \epsilon_{fdd} \right\}$$

Máxima deformación unitaria de FRP después de que el despegamiento de FRP tiene lugar

Rotura del FRP. Depende de las propiedades mecánicas del material

Tabla 3-1 – Factores parciales γ_{Rd} .

Modelo de resistencia	γ_{Rd}
Flexión y Flexo-compresión	1.00
Corte/Torsión	1.20
Confinamiento	1.10

Tabla 3-2– Factores de conversión ambiental η_a para varias condiciones de exposición y varios sistemas de FRP .

Condiciones de exposición	Tipo de fibra/resina	η_a
Internos	Vidrio/Epóxico	0.75
	Arámido/Epóxico	0.85
	Carbón/Epóxico	0.95
Externos	Vidrio/Epóxico	0.65
	Arámido/Epóxico	0.75
	Carbón/Epóxico	0.85
Medioambiente agresivo	Vidrio/Epóxico	0.50
	Arámido/Epóxico	0.70
	Carbón/Epóxico	0.85

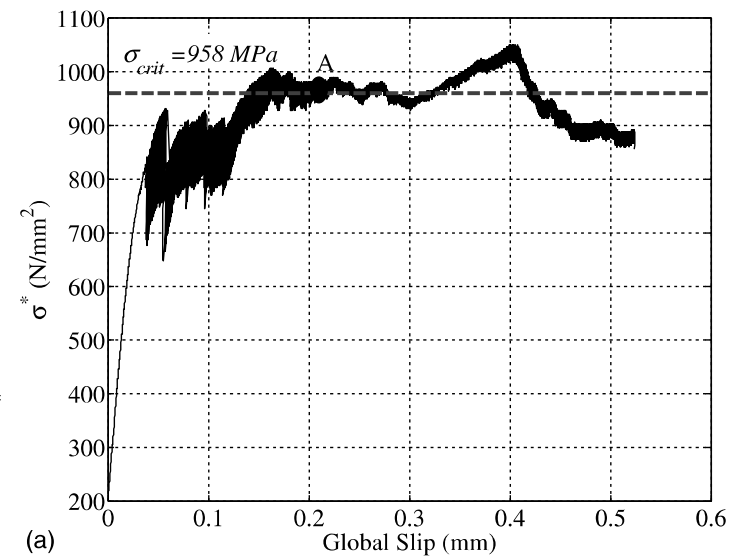
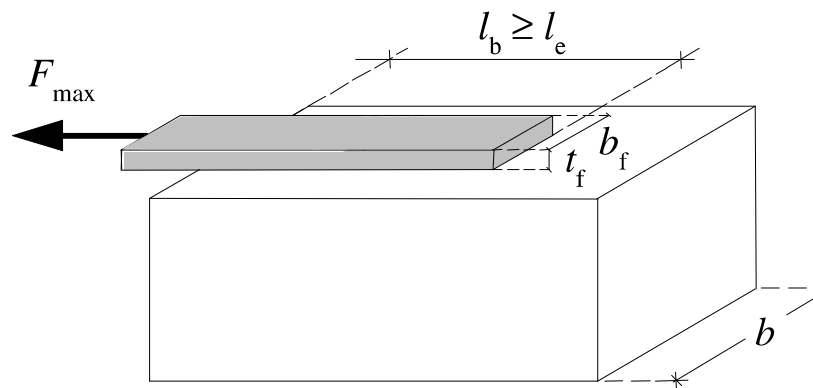
Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)



REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

CNR-DT 200

El despegue entre el refuerzo FRP y la mampostería puede ocurrir en los siguientes modos de fallas: despegue en el extremo del refuerzo o en fisuras intermedia



Carlioni y Subramaniam, 2012

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

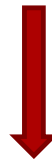
REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

CNR-DT 200

VERIFICACION DEL DESPEGUE DEL FRP DEL SUBSTRATO – EXTREMO DEL SISTEMA DE REFORZAMIENTO

$$l_{ed} = \max \left\{ \frac{1}{\gamma_{Rd} \cdot f_{bd}} \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E_f \cdot t_f \cdot \Gamma_{Fd}}{2}}, 200 \text{ mm} \right\}$$

CONCRETO



$$l_{ed} = \max \left\{ \frac{1}{\gamma_{Rd} \cdot f_{bd}} \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E_f \cdot t_f \cdot \Gamma_{Fd}}{2}}, 150 \text{ mm} \right\}$$

MAMPOSTERIA

Coeficiente correctivo igual a 1.5 para piedras pómez (porosas) y bloques perforados, y 1.25 para mampostería calcarenitas

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

CNR-DT 200

VERIFICACION DEL DESPEGUE DEL FRP DEL SUBSTRATO – EXTREMO DEL SISTEMA DE REFORZAMIENTO

$$f_{bd} = \frac{2 \cdot I_{Fd}}{s_u}, \text{ con } s_u = 0.25 \text{ mm}$$

CONCRETO



$$f_{bd} = \frac{2 \cdot I_{Fd}}{s_u}$$

MAMPOSTERIA

Igual a 0.4 mm para piedra pómez (porosas) y bloques perforados, y 0.3 mm para mampostería calcarenitas

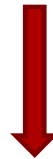
REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

CNR-DT 200

VERIFICACIÓN DEL DESPEGUE DEL FRP DEL SUBSTRATO – EXTREMO DEL SISTEMA DE REFORZAMIENTO

$$\Gamma_{Fd} = \frac{k_b \cdot k_G}{FC} \cdot \sqrt{f_{cm} \cdot f_{ctm}}$$

CONCRETO



$$\Gamma_{Fd} = \frac{k_b \cdot k_G}{FC} \cdot \sqrt{f_{bm} \cdot f_{btm}}$$

MAMPOSTERIA

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

ADHERENCIA DE LOS MATERIALES FRP

VERIFICACIÓN DEL DESPEGUE DEL FRP DEL SUBSTRATO

Valor de diseño de la energía específica de fractura

Factor de corrección geométrica

$$k_b = \sqrt{\frac{3 - b_f / b}{1 + b_f / b}}$$

Igual a 0.031 mm, 0.048 mm o 0.012 segun el tipo de mamposteria for elementos impregnados in situ (y reducidos al 40% para sistemas precurados)

$$\Gamma_{Fd} = \frac{k_b \cdot k_G}{FC} \cdot \sqrt{f_{bm} \cdot f_{btm}}$$

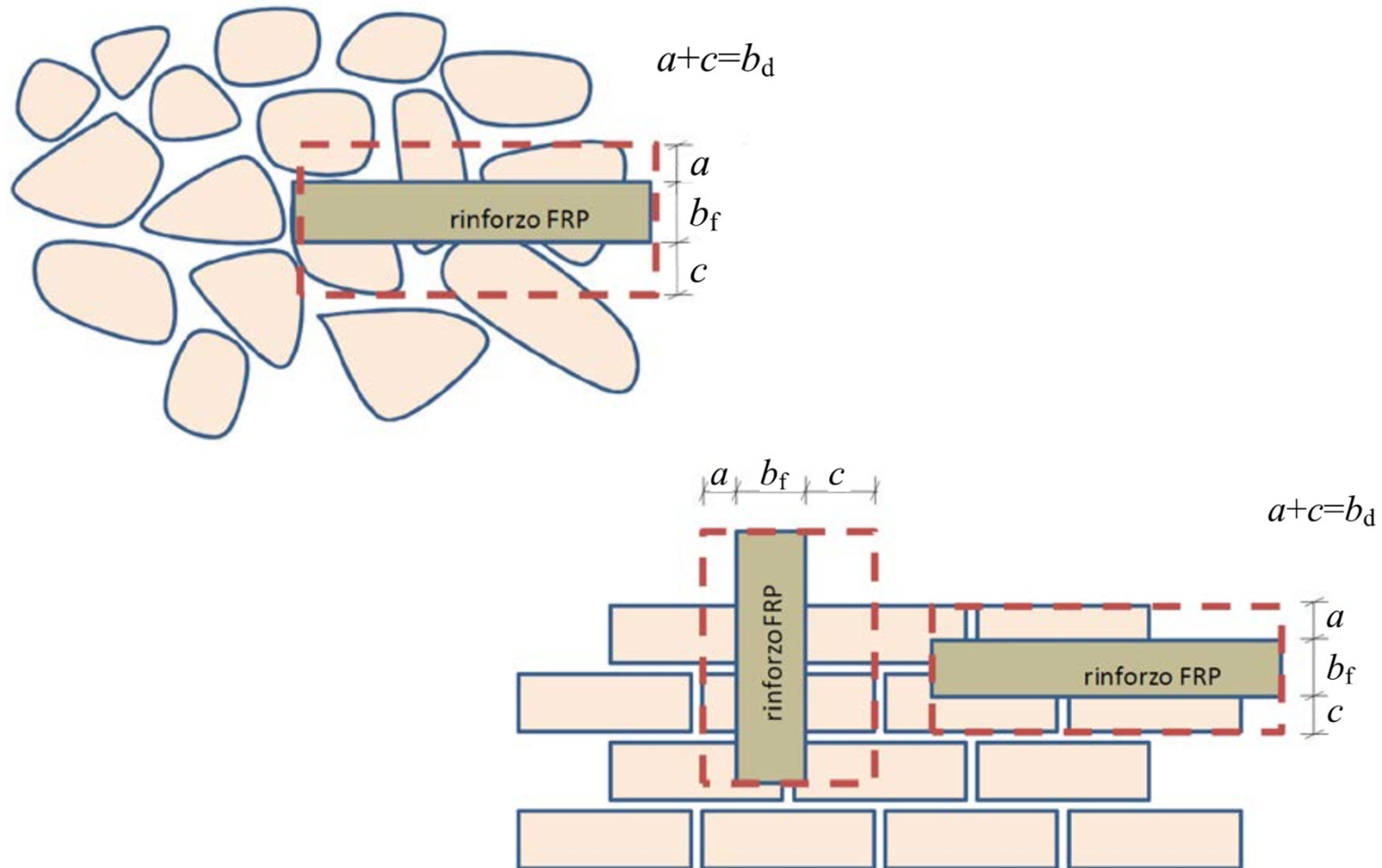
Factor de confianza

f_{bm} y f_{btm} son las resistencias de compresión y tracción de bloques de mampostería, respectivamente. ($f_{btm} = 0.10 f_{bm}$)

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

ADHERENCIA DE LOS MATERIALES FRP

VERIFICACIÓN DEL DESPEGUE DEL FRP DEL SUBSTRATO



Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

VERIFICACIÓN DEL DESPEGUE DEL FRP DEL SUBSTRATO

Diagram illustrating the verification of FRP delamination from the substrate, showing the design ultimate stress (f_{fdd}) and the partial factor ($\gamma_{f,d}$).

The formula for the design ultimate stress is:

$$f_{fdd} = \frac{1}{\gamma_{f,d}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot E_f \cdot \Gamma_{Fd}}{t_f}}$$

Labels and definitions:

- f_{fdd} : Esfuerzo último de diseño
- $\gamma_{f,d}$: Factor parcial que varía entre 1.20 a 1.50, dependiendo de la probabilidad de falla debida al despegue
- E_f : Módulo elástico del FRP
- Γ_{Fd} : Valor de diseño de la energía específica de fractura
- t_f : Espesor del FRP

En caso de adherencia sobre mampostería con una junta de mortero a una distancia inferior que la longitud óptima de pegado, la resistencia de diseño en el refuerzo debe ser reducida en un 85% del valor provisto por la fórmula

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

CNR-DT 200

VERIFICACION DEL DESPEGUE DEL FRP DEL SUBSTRATO – DESPEGUE INTERMEDIO

$$f_{\text{fdd},2} = \alpha \cdot f_{\text{fdd}} \quad (1.0 \leq \alpha \leq 2.0).$$

En particular, si la distancia desde el extremo libre es menor que $3 \cdot l_e$,
entonces $\alpha = 1.5$

$$\varepsilon_{\text{fdd}} = \frac{f_{\text{fdd},2}}{E_f}$$

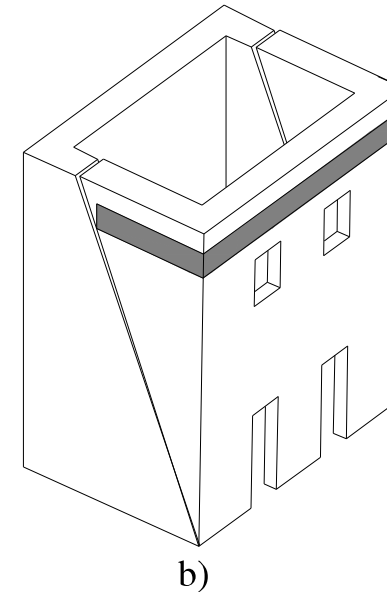
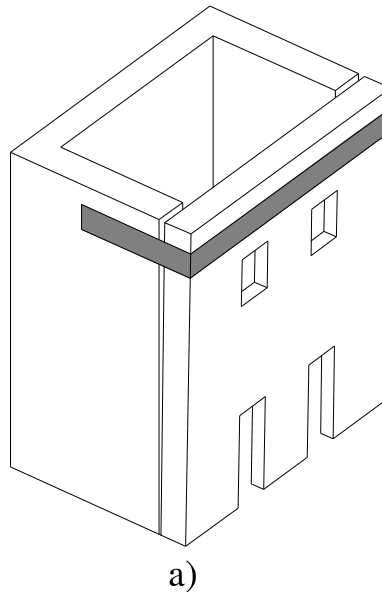
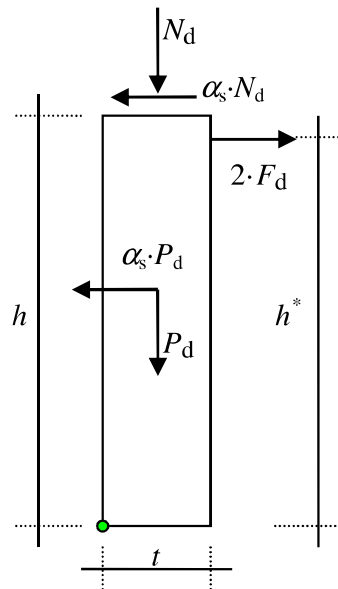
Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)



REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

CNR-DT 200

REFORZAMIENTO PARA ACCIONES FUERA DEL PLANO - VOLCAMIENTO



$$F_d = \frac{1}{2 \cdot h^*} \cdot \left[\alpha_s \cdot \left(P_d \cdot \frac{h}{2} + N_d \cdot h \right) - (P_d + N_d) \cdot t \right]$$

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

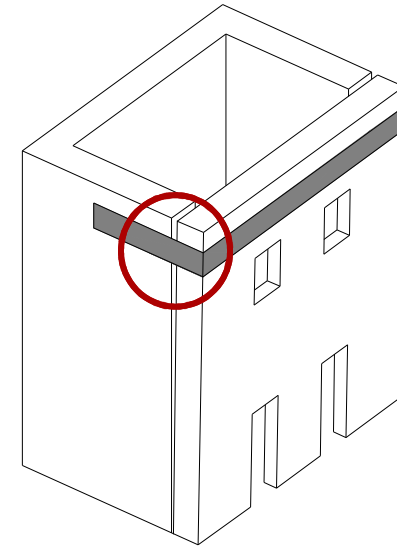
CNR-DT 200

REFORZAMIENTO PARA ACCIONES FUERA DEL PLANO - VOLCAMIENTO

- FRP tensile strength:

$$F_d \leq F_{Rd} \cdot$$

where: $F_{Rd} = A_f \cdot f_{fd}$, $f_{fd} = E_f \cdot \epsilon_{fd}$ and A_f is the FRP reinforcement area.



- Rip-off of FRP from orthogonal walls:

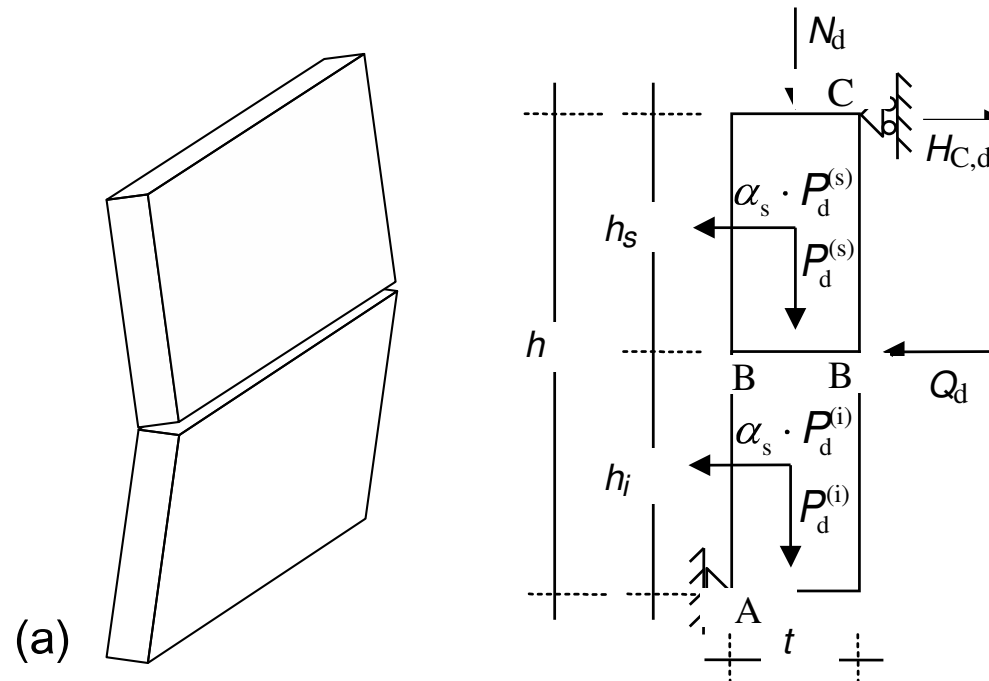
$$F_d \leq F_{pd} \cdot \quad (5.13)$$

where: $F_{pd} = A_f \cdot f_{fdd}$ represents the maximum anchorage force of the FRP applied to one of the two orthogonal walls.

REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

CNR-DT 200

REFORZAMIENTO PARA ACCIONES FUERA DEL PLANO – FLEXIÓN VERTICAL



Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

CNR-DT 200

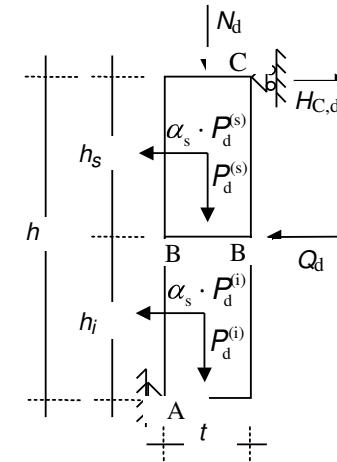
REFORZAMIENTO PARA ACCIONES FUERA DEL PLANO – FLEXIÓN VERTICAL

$$H_{C,d} = \frac{h_i \cdot (2 \cdot Q_d + \alpha_s \cdot P_d^{(i)}) + \alpha_s \cdot P_d^{(s)} \cdot (2 \cdot h - h_s) - t \cdot (N_d + P_d^{(s)} + P_d^{(i)})}{2 \cdot h}$$

$$N_{Sd} = N_d + P_d^{(s)},$$

$$M_{Sd} = H_{C,d} \cdot h_s - \alpha_s \cdot P_d^{(s)} \cdot \frac{h_s}{2}$$

$$M_{Sd} \leq M_{Rd}$$



La capacidad a flexión del muro reforzado, M_{Rd} , puede ser determinada como una función de las características mecánicas de la mampostería y FRP, el espesor del panel de mampostería, t , el valor de la fuerza axial aplicada y el factor parcial para modelos de resistencia, γ_{Rd} , que es igual a 1.00.

La relación esfuerzo-deformación unitaria de compresión para la mampostería se asume rectangular con un esfuerzo de compresión uniforme de $0.85f_{md}$, distribuida sobre una zona confinada de compresión equivalente limitada por los bordes de la sección transversal y una línea recta localizada paralela al eje neutral, x , a una distancia entre $0.6 \div 0.8 x$

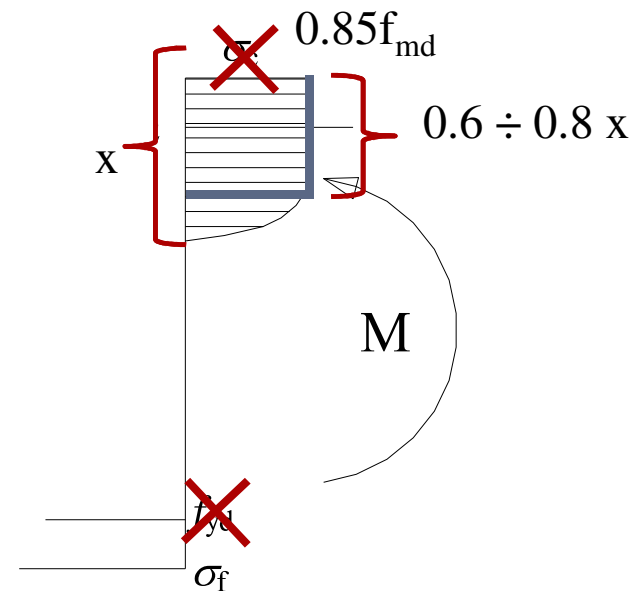
Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

CNR-DT 200

REFORZAMIENTO PARA ACCIONES FUERA DEL PLANO – FLEXIÓN VERTICAL

La relación esfuerzo-deformación unitaria de compresión para la mampostería se asume rectangular con un esfuerzo de compresión uniforme de $0.85f_{md}$, distribuída sobre una zona confinada de compresión equivalente limitada por los bordes de la sección transversal y una línea recta localizada paralela al eje neutral, x , a una



REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

CNR-DT 200

REFORZAMIENTO PARA ACCIONES FUERA DEL PLANO – FLEXIÓN HORIZONTAL

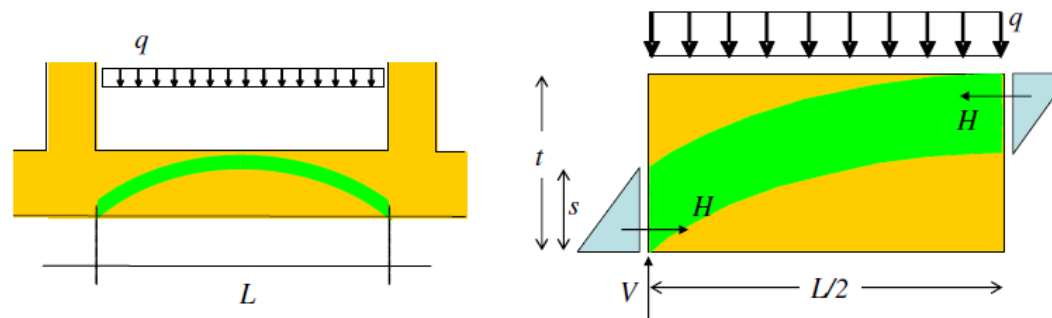
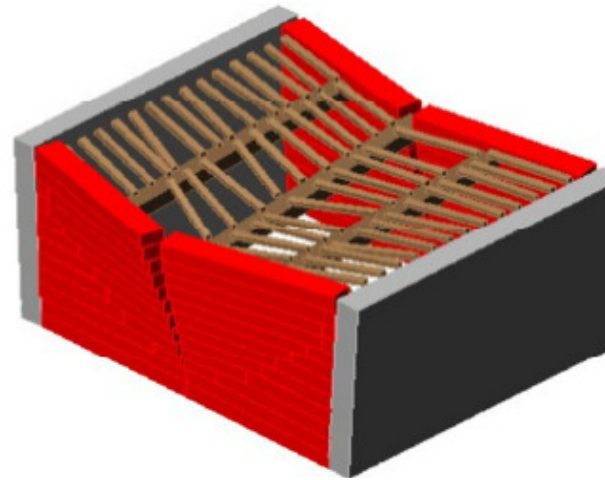


Figura 5-8 – Colapso por inflexión horizontal.

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

CNR-DT 200

REFORZAMIENTO PARA ACCIONES FUERA DEL PLANO – FLEXIÓN HORIZONTAL

$$q_d = \frac{2 \cdot t^2}{3 \cdot L^2} \cdot f_{md}^h,$$

donde L es el ancho del panel, y f_{md}^h representa la resistencia de compresión de diseño de la mampostería en dirección horizontal.

Los sistemas FRP pueden ayudar a incrementar el valor de q_d .

REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

CNR-DT 200

REFORZAMIENTO PARA ACCIONES EN EL PLANO– FLEXO COMPRESIÓN

- Sistemas verticales FRP, simétricamente instalados sobre ambos lados del panel y adecuadamente pegados a la superficie, pueden ser usados para incrementar la resistencia a flexocompresión.
- En particular, la resistencia de las secciones extremas delimitadas del panel por la cimentación y el primer nivel o entre dos pisos consecutivos serán calculadas. La contribución FRP debe ser despreciada si los dispositivos de anclaje mecánico no están presentes.

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)



REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

CNR-DT 200

REFORZAMIENTO PARA ACCIONES EN EL PLANO– CORTANTE

La resistencia a cortante de los paneles de mampostería reforzados con FRP aplicados a ambos lados del panel puede ser incrementada por una aplicación adicional de FRP a ambos lados con fibras colocadas paralelas a la dirección del cortante. Por medio del uso de este sistema, la resistencia de cortante puede ser observada como la combinación de dos mecanismos resistentes:

- (1) fuerzas de corte debido a la fricción en presencia de cargas de compresión, y
- (2) elementos capaces de resistir tensiones que hacen que un mecanismo de cercha se active, y las fuerzas de corte son determinadas por equilibrio interno.

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)



REFORZAMIENTO PARA ACCIONES EN EL PLANO– CORTANTE

(2) Cuando la formación de un mecanismo de cercha está asegurado, la resistencia de diseño de corte V_{Rd} , del panel de mampostería reforzado con FRP es calculada como la suma de la contribución de mampostería, $V_{Rd,m}$, y la contribución FRP, $V_{Rd,f}$, hasta el máximo valor $V_{Rd,max}$ que induce la falla del tensor comprimido de la cercha:

$$V_{Rd} = \min \{ V_{Rd,m} + V_{Rd,f} ; V_{Rd,max} \} . \quad (5.20)$$

Si el reforzamiento del corte es paralelo a las juntas de mortero, las variables arriba definidas pueden ser evaluadas como sigue:

$$V_{Rd,m} = x \cdot t \cdot f_{vd} , \quad (5.21)$$

$$V_{Rd,f} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot 0.6 \cdot d \cdot (E_f \cdot \varepsilon_{fd}) \cdot 2 \cdot t_f \cdot \frac{b_f}{p_f} , \quad (5.22)$$

donde:

- x es la distancia del eje neutro desde la fibra extrema en compresión;
- t es el espesor del panel de mampostería;
- f_{vd} es la resistencia de diseño de corte de la mampostería, valorada de acuerdo al código de construcción, en función de la tensión normal media igual a la relación entre la resultante de los esfuerzos de compresión y el área, $x \cdot t$;

REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

CNR-DT 200

REFORZAMIENTO PARA ACCIONES EN EL PLANO– CORTANTE

$$V_{Rd,m} = x \cdot t \cdot f_{vd}, \quad (5.21)$$

$$V_{Rd,f} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot 0.6 \cdot d \cdot (E_f \cdot \varepsilon_{fd}) \cdot 2 \cdot t_f \cdot \frac{b_f}{p_f}, \quad (5.22)$$

- E_f es el módulo de Elasticidad normal de FRP en la dirección de la fibra;
- ε_{fd} es la deformación unitaria de diseño del compuesto FRP como lo indica la Ecuación (5.1)
- t_f es el espesor de FRP;
- b_f y p_f son el ancho y el espaciamiento centro a centro de las bandas FRP medidas ortogonalmente a la dirección de la fibra, respectivamente. Para las bandas FRP aplicadas adyacentes una a la otra, la relación b_f/p_f es igual a 1.0.

$$\varepsilon_{fd} = \min \left\{ \eta_a \cdot \frac{\varepsilon_{fk}}{\gamma_f}, \varepsilon_{fdd} \right\},$$

El coeficiente parcial para el modelo de resistencia, γ_{Rd} , es igual a 1.20 (Tabla 3-1 of Sección 3.4.2). Si el ángulo de fricción, ϕ , de juntas de mortero es más pequeño que 45° , el valor de $V_{Rd,f}$ provisto por la Ecuación (5.22) será reducido por un factor igual a cotangente ($90^\circ - \phi$). El ángulo ϕ puede ser calculado de la resistencia a compresión y tensión del mortero.

- (4) La resistencia de diseño de corte del panel de mampostería, $V_{Rd,max}$, correspondiente a la falla del tensor en compresión de la cercha puede ser calculada como sigue:

$$V_{Rd,max} = 0.3 \cdot f_{md}^h \cdot t \cdot d, \quad (5.23)$$

donde f_{md}^h es la resistencia de diseño de compresión paralela a las juntas de mortero.

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)



REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

CNR-DT 200 CONFINAMIENTO DE COLUMNAS DE MAMPOSTERÍA

(3) La resistencia axial del elemento reforzado FRP, N_{sd} , debe exceder la fuerza axial de diseño debido a las cargas aplicadas calculadas de acuerdo al código de construcción, $N_{Rmc,d}$, como sigue:

$$N_{sd} \leq N_{Rmc,d}, \quad (5.33)$$

(4) $N_{Rmc,d}$, es dado como sigue:

$$N_{Rmc,d} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot A_m \cdot f_{mcd} \geq A_m \cdot f_{md}, \quad (5.34)$$

donde el coeficiente parcial, γ_{Rd} , será igual a 1.10. En el caso de columnas de sección transversal no-circular, internamente confinadas solo con varillas, $\gamma_{Rd} = 1.25$ (Tabla 3-1, Sección 3.4.2). A_m representa el área de la sección transversal del elemento confinado con FRP, f_{md} representa la resistencia a compresión de diseño de la mampostería no confinada, y f_{mcd} es la resistencia a compresión del elemento confinado.

(5) la resistencia a compresión de diseño, f_{mcd} , para elementos confinados sujetos a una presión de confinamiento lateral, f_1 , puede ser escrita como sigue: $f_{l,eff}$, llamada “presión efectiva de confinamiento”:

REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

CNR-DT 200 CONFINAMIENTO DE COLUMNAS DE MAMPOSTERÍA

$$f_{\text{mcd}} = f_{\text{md}} \cdot \left[1 + k' \cdot \left(\frac{f_{\text{l,eff}}}{f_{\text{md}}} \right)^{\alpha_1} \right], \quad (5.35)$$

donde k' es un coeficiente no dimensional, $f_{\text{l,eff}}$ representa la presión efectiva de confinamiento, y α_1 es un coeficiente igual a 0.5 si no están disponibles más datos.

(6) A menos que se desarrolle un análisis más detallado, k' puede ser calculado como sigue:

$$k' = \alpha_2 \cdot \left(\frac{g_m}{1000} \right)^{\alpha_3}, \quad (5.36)$$

donde g_m es la masa-densidad de la mampostería expresada como kg/m^3 , y, α_2 y α_3 son coeficientes igual a 1.0 si más datos experimentales no están disponibles.

(7) La presión eficaz de confinamiento, $f_{\text{l,eff}}$, es una función de la forma de la sección transversal y del sistema FRP.

Definiendo V_m como el volumen del elemento de mampostería a ser reforzado, y $V_{\text{c,eff}}$ como la porción del volumen efectivamente confinado, el siguiente coeficiente de eficiencia puede ser escrito así:

$$k_{\text{eff}} = \frac{V_{\text{c,eff}}}{V_m}. \quad (5.37)$$

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)



REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

CNR-DT 200 CONFINAMIENTO DE COLUMNAS DE MAMPOSTERÍA

La presión eficaz de confinamiento puede ser definida como una función del coeficiente de eficiencia. A cambio, esto puede ser expresado como el producto de un coeficiente horizontal y vertical de eficiencia, k_H y k_V , respectivamente:

$$f_{l,eff} = k_{eff} \cdot f_1 = k_H \cdot k_V \cdot f_1. \quad (5.38)$$

(8) Cuando se usan bandas de espiral FRP, la efectividad del confinamiento FRP es penalizada por inclinación de la fibra. α_f indica la inclinación de la fibra FRP con respecto al plano horizontal de la sección transversal del elemento. El siguiente coeficiente puede ser definido:

$$k_\alpha = \frac{1}{1 + \tan^2 \alpha_f}. \quad (5.39)$$

Este coeficiente penaliza la presión lateral de confinamiento, f_1 , reportado en la Ecuación (5.38). El reforzamiento FRP desarrollado con varillas FRP insertadas en los orificios no será afectado por este coeficiente.

(9) Para mitigar la deformación axial y prevenir el daño en el Estado Límite de Servicio, la resistencia axial incrementada debido al confinamiento FRP no será mayor que el 50 % de la resistencia a compresión de diseño, f_{md} , del elemento no confinado.

REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

CNR-DT 200 CONFINAMIENTO DE COLUMNAS DE MAMPOSTERÍA

$$\rho_f = \frac{4 \cdot t_f \cdot b_f}{D \cdot p_f}, \quad (5.40)$$

donde:

- t_f es el espesor de FRP;
- b_f es el ancho de la banda FRP;
- D es el diámetro de la sección transversal de la mampostería.
- p_f es el espacio centro a centro de las bandas FRP.

En el caso de envoltura continua FRP, la relación ρ_f se hace igual a $4 \cdot t_f / D$.

(2) En condiciones de equilibrio límite, la presión de confinamiento, f_l , puede ser calculada como sigue:

$$f_l = \frac{1}{2} \cdot \rho_f \cdot E_f \cdot \varepsilon_{fd,rid}, \quad (5.41)$$

donde E_f es el módulo de Elasticidad normal de las bandas FRP, y $\varepsilon_{fd,rid}$ representa el valor reducido de diseño de la deformación unitaria del FRP al colapsar la columna.

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

CNR-DT 200

CONFINAMIENTO DE COLUMNAS DE MAMPOSTERÍA

(3)P La deformación unitaria reducida de diseño por refuerzo FRP puede ser escrita como sigue:

$$\varepsilon_{fd,rid} = \min\{\eta_a \cdot \varepsilon_{fk} / \gamma_f; 0.004\}, \quad (5.42)$$

donde η_a es el factor de conversión medioambiental (Tabla 3-2), ε_{fk} y γ_f , representa la deformación unitaria máxima de los factores parciales de las bandas FRP, respectivamente (Sección 3.4.1), y 0.004 es un límite de la deformación unitaria convencional (ver Sección 3.4.1).

(4) Para una sección transversal circular reforzada con bandas FRP, el coeficiente horizontal de eficiencia, k_H , es igual a 1. El coeficiente de eficiencia vertical, k_V , es también asumido igual a 1 sólo para confinamiento continuo.

(5) Una reducción del volumen confinado (Figura 5-12) se observa en caso de confinamiento no continuo. En tal caso, el coeficiente de eficiencia vertical, k_V , puede ser calculado como sigue:

$$k_V = \left(1 - \frac{p_f'}{2 \cdot D}\right)^2, \quad (5.43)$$

donde p_f' es la distancia centro a centro entre dos bandas consecutivas.

CNR-DT 200 CONFINAMIENTO DE COLUMNAS DE MAMPOSTERÍA

5.6.3 Confinamiento de columnas cuadradas o rectangulares

(1)P El confinamiento FRP de secciones transversales no circulares muestra solo un ligero incremento en la capacidad de carga portante. Además tales aplicaciones serán cuidadosamente analizadas.

(2) El confinamiento externo sobre columnas prismáticas no será considerado cuando $b/h > 2$ o $\max\{b, h\} > 900$ mm, a menos que estén disponibles datos experimentales (Figura 5-13).

(3) Como se indica en la Sección 5.6.2(1), la presión confinante, f_1 , de un elemento rectangular que tiene una dimensión $b \times h$ puede ser calculada como sigue:

$$f_1 = \frac{1}{2} \cdot \min\{\rho_{f,x} \cdot E_f + 2 \cdot \rho_{b,x} \cdot E_b; \rho_{f,y} \cdot E_f + 2 \cdot \rho_{b,y} \cdot E_b\} \cdot \varepsilon_{fd,rid}, \quad (5.44)$$

donde los parámetros no dimensionales $\rho_{f,x}$, $\rho_{f,y}$, $\rho_{b,x}$, $\rho_{b,y}$ son definidos por (Figura 5-13):

$$\rho_{f,x} = \frac{4 \cdot t_f \cdot b_f}{h \cdot p_f}, \quad \rho_{f,y} = \frac{4 \cdot t_f \cdot b_f}{b \cdot p_f}, \quad \rho_{b,x} = \frac{n_{b,x} \cdot A_b}{p_b \cdot h}, \quad \rho_{b,y} = \frac{n_{b,y} \cdot A_b}{p_b \cdot b}, \quad (5.45)$$

donde $n_{b,x}$ y $n_{b,y}$ representa el número de varillas o barras en la dirección X y Y, respectivamente, A_b es el área de la sección transversal de la varilla, y p_b la distancia entre dos varillas consecutivas colocadas a lo largo de la misma dirección.

Para una envoltura continua, $\rho_{f,x}$ y $\rho_{f,y}$ se convierte en (Ecuación (5.45)):

CNR-DT 200

CONFINAMIENTO DE COLUMNAS DE MAMPOSTERÍA


$$f_1 = 2 \cdot \frac{t_f \cdot E_f}{\max\{b, h\}} \cdot \varepsilon_{\text{fd,rid}}, \quad f_1 = \frac{2t_f b_f E_f}{\max\{b, h\} p_f}, \quad (5.47)$$
$$f_l = \min\{\rho_{b,x} \cdot E_b; \rho_{b,y} \cdot E_b\} \cdot \varepsilon_{\text{fd,rid}}. \quad (5.48)$$


REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

CNR-DT 200 CONFINAMIENTO DE COLUMNAS DE MAMPOSTERÍA

El coeficiente horizontal de eficiencia está dado por la relación entre el área confinada y el área total de la columna de mampostería, A_m , como sigue:

$$k_H = 1 - \frac{b'^2 + h'^2}{3 \cdot A_m}, \quad (5.49)$$

donde b' y h' son las dimensiones indicadas en la Figura 5-13.

(5) Si el sistema de reforzamiento FRP de (4) es no-contínuo, el coeficiente vertical de eficiencia es igual a (Figura 5-12):

$$k_V = \left(1 - \frac{p_f'}{2 \cdot \min\{b, h\}} \right)^2. \quad (5.50)$$

Para un confinamiento contínuo, k_v es igual a 1.

(6) La distancia centro a centro, p_f , estará de acuerdo con la Ecuación (5.51):

$$p_f \leq \frac{1}{2} \cdot \min\{b, h\}. \quad (5.51)$$

REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

CNR-DT 200 APLICACIONES SÍSMICAS

El reforzamiento FRP de estructuras de mampostería sujetas a acciones sísmicas puede ser realizado cuando el elemento no reforzado no satisface uno o más estados límites de acuerdo al código de construcción.

Esta parte del documento reconoce las provisiones del código de construcción así como las indicaciones provistas en la más moderna literatura relacionada a construcciones sísmicas. De particular importancia es lo siguiente:

- Evaluación de la seguridad sísmica;
- Requerimientos de seguridad (verificación de estados límite);
- Niveles de protección sísmica (magnitud de la acción sísmica asociada);
- Métodos de análisis;
- Criterio de verificación (distinción entre elementos dúctiles y frágiles);
- Características del material a ser usado para el diseño.

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)



REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

CNR-DT 200 APLICACIONES SÍSMICAS

5.7.2 Criterio de selección para reforzamiento FRP

(1)P El tipo y tamaño de sistemas seleccionados de FRP considerarán lo siguiente:

- estructuras de mampostería incapaces de soportar acciones verticales y horizontales serán reforzadas o reemplazadas;
- las paredes que terminan en uniones T de mampostería o esquinas de mampostería serán apropiadamente conectadas;
- conexiones no satisfactorias entre pisos y tumbado y paredes verticales se harán efectivas.
- fuerzas horizontales generadas de cubiertas, arcos y bóvedas serán tomadas por elementos estructurales apropiados;
- los pisos efectivamente conectados a paredes verticales serán apropiadamente rigidizados en su plano para ser capaces de transferir fuerzas horizontales a las paredes verticales localizadas en la dirección de la acción sísmica. Ellos también proveerán restricción al movimiento de las paredes verticales localizadas en dirección ortogonal;
- elementos de alta vulnerabilidad para los cuales el reforzamiento no es posible realizar, serán eliminados.
- en el caso de edificaciones fuertemente irregulares (en términos de resistencia y/o rigidez), el reforzamiento FRP, es usualmente incapaz de proveer confiabilidad a la estructura. Puede ser usado por unos cuantos elementos estructurales para concederle un mínimo de regularidad a la estructura;
- los elementos reforzados con FRP que incrementan la ductilidad local son siempre recomendados;
- el reforzamiento local FRP no debe reducir la ductilidad total de la estructura.

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)



REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

CNR-DT 200 APLICACIONES SÍSMICAS

(2)P El reforzamiento con FRP es típicamente destinado a lo siguiente:

- reforzamiento total o parcial, reemplazo o reconstrucción de los elementos estructurales;
- modificación del comportamiento de toda la estructura por medio de la conexión de diferentes elementos estructurales.

(3)P El diseño de refuerzo FRP incluirá lo siguiente:

- selección racional de la técnica de refuerzo;
- selección de la técnica apropiada y/o material;
- dimensionamiento preliminar del refuerzo FRP;
- análisis estructural, tomando en cuenta la estructura reforzada con FRP;
- verificaciones de seguridad de la estructura reforzada en los elementos reforzados y recientemente añadidos (las verificaciones de seguridad de los elementos existentes reparados o reforzados serán realizadas de acuerdo a esta guía).

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)



FRP TRAINING COURSE

MODULO 5: REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

Copyright 2018- Este curso de capacitación en formato electrónico con textos, fotos y dibujos es propiedad de la compañía italiana G & P intech y está protegida por derechos de autor y copyright 2018. Está prohibido imprimir, copiar, reproducir, incluso parcialmente, para difundir el documento por correo electrónico, internet sin el permiso expreso por escrito de los autores y G & P intech. Cualquier violación de lo anterior será castigada de acuerdo con las regulaciones nacionales e internacionales vigentes en materia de derechos de autor y copyright.

www.gpintech.com

info@gpintech.com

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

