

# **TRAINING COURSE**

## **Composite materials for structural consolidation, repairing, strengthening and anti-seismic prevention**

**Ing. Giorgio Giacomini G&P Intech - Italy**

**PhD. Jaime Gonzalez University of Padua – Italy**

**Ing. Carlo Perinelli G&P Intech – Italy**

**February, 5-9 , 2018 (Vicenza, Italy)**

---



# 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)



# TRAINING COURSE

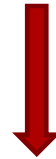
## MODULO 1: INTRODUCCIÓN A LOS MATERIALES FRP Y A LA NORMATIVA PARA SU DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)



# PROCEDIMIENTO DE INTERVENCIÓN/REFORZAMIENTO

**Por qué se  
requiere?**



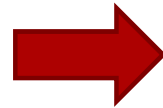
- **Acciones  
correctivas/  
preventivas**

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

# Por qué es necesario reparar y/o reforzar las estructuras existentes?

## ACCIONES CORRECTIVAS

- **Restituir y/o incrementar capacidad original de elementos afectados durante eventos extremos de carga y/o exposición**



**Sismos**  
**Fuego**  
**Corrosión**  
**Sobrecargas**  
**Deterioro por falta de adecuado mantenimiento**  
**Asentamientos del terreno**

# Por qué es necesario reparar y/o reforzar las estructuras existentes?

## ACCIONES PREVENTIVAS

- **Actualización a códigos y normativos de diseño vigentes**
- **Incremento de capacidad estructural de los elementos**

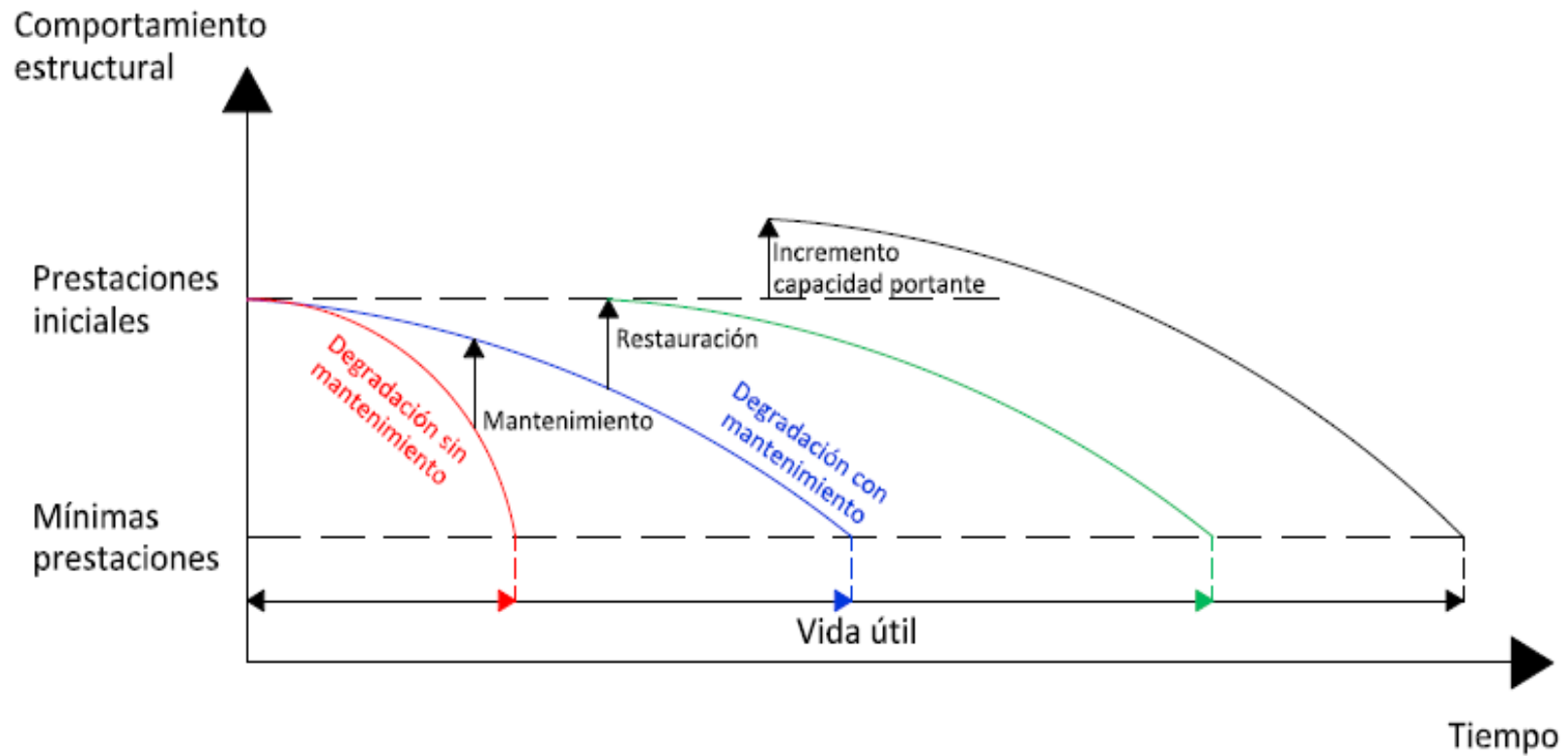


**Aumento de cargas esperadas por cambio de uso de la estructuras**

**Errores de diseño y/o construcción**

**Aumento de cargas por cambios por eliminación/modificación elementos estructurales**





Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

# PROCEDIMIENTO DE INTERVENCIÓN/REFORZAMIENTO



Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

→ need for rehabilitation



**€320bn** on rehabilitation and maintenance in 2013 (EU27)  
*(European Construction Industry Federation 2014)*

“The Federal Highway Administration (FHWA) estimates that to eliminate the US nation’s bridge deficient backlog by 2028, we would need to invest

**\$20.5bn** annually, while only \$12.8 bn is being spent currently.”  
*(ASCE Infrastructure Report Card 2013)*

© 2015 Stijn Matthys

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

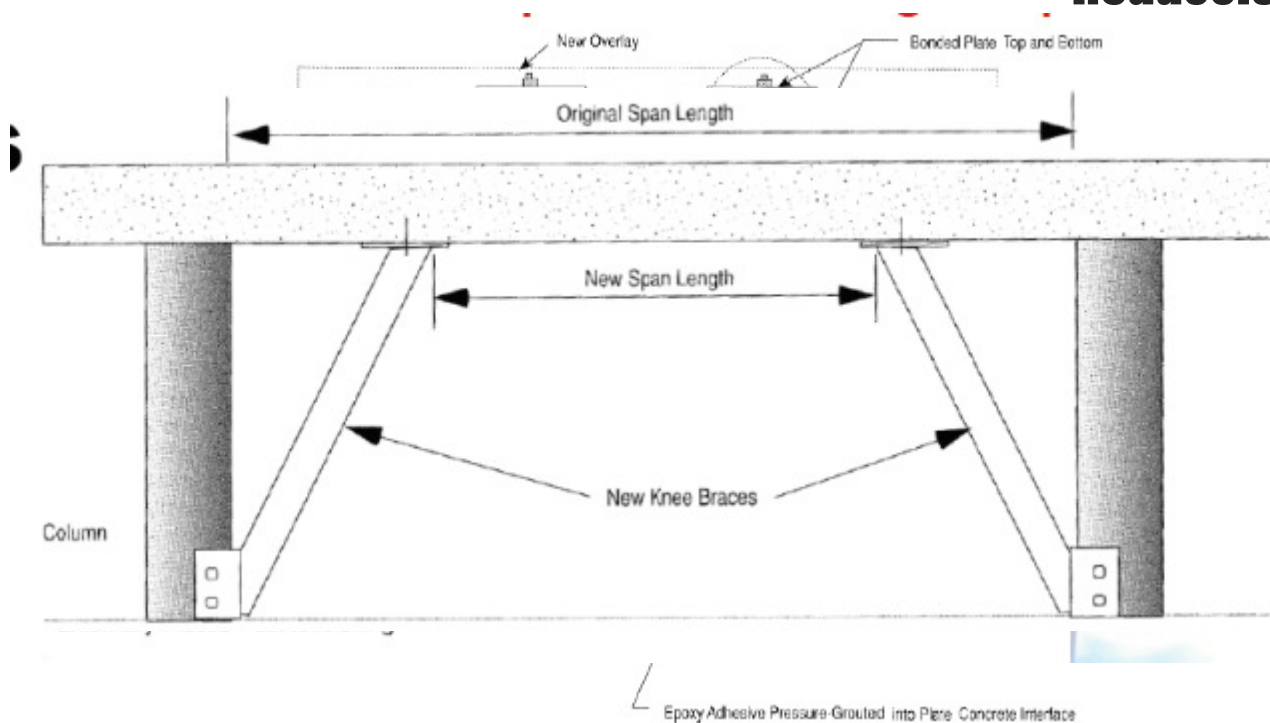
# MÉTODOS/TÉCNICAS DE INTERVENCIÓN

**Materiales  
tradicionales**

**Hormigón**

**Acero**

- Incremento de las secciones
- Acción compuesta
- Postensado
- Reducción de luces



Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

**FRPs**



**Fiber Reinforced Polymers**

**Polímeros reforzados con fibras**

**Material compuesto:** *Formado por la unión de dos o más materiales para conseguir propiedades superiores a las de los componentes individuales.*

**FRPs**

**=**

**Matriz Polimérica**

**+**

**Fibras**



**Polyester.  
Vinylester,  
EPOXI**



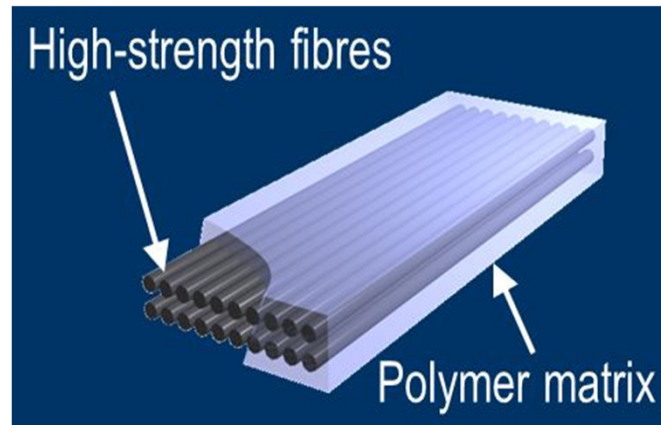
**Carbono, vidrio,  
aramida,  
basalto**

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

# FRPs

## Matriz Polimérica

Protección de daño  
mecánico y ambiental,  
distribución de cargas  
a/entre las fibras,  
adherencia con el sustrato

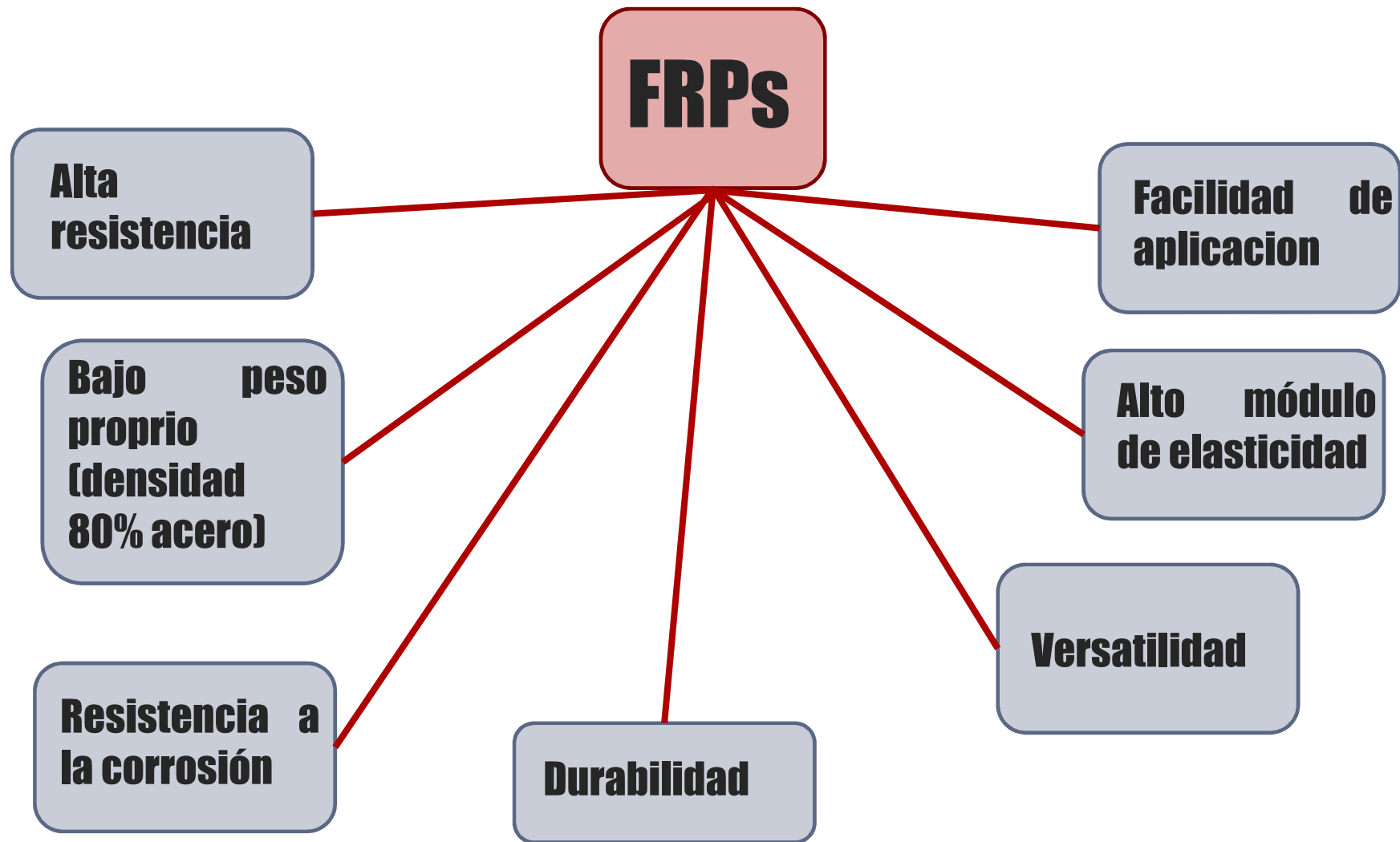


## Fibras

Proporcionan  
rigidez y  
resistencia

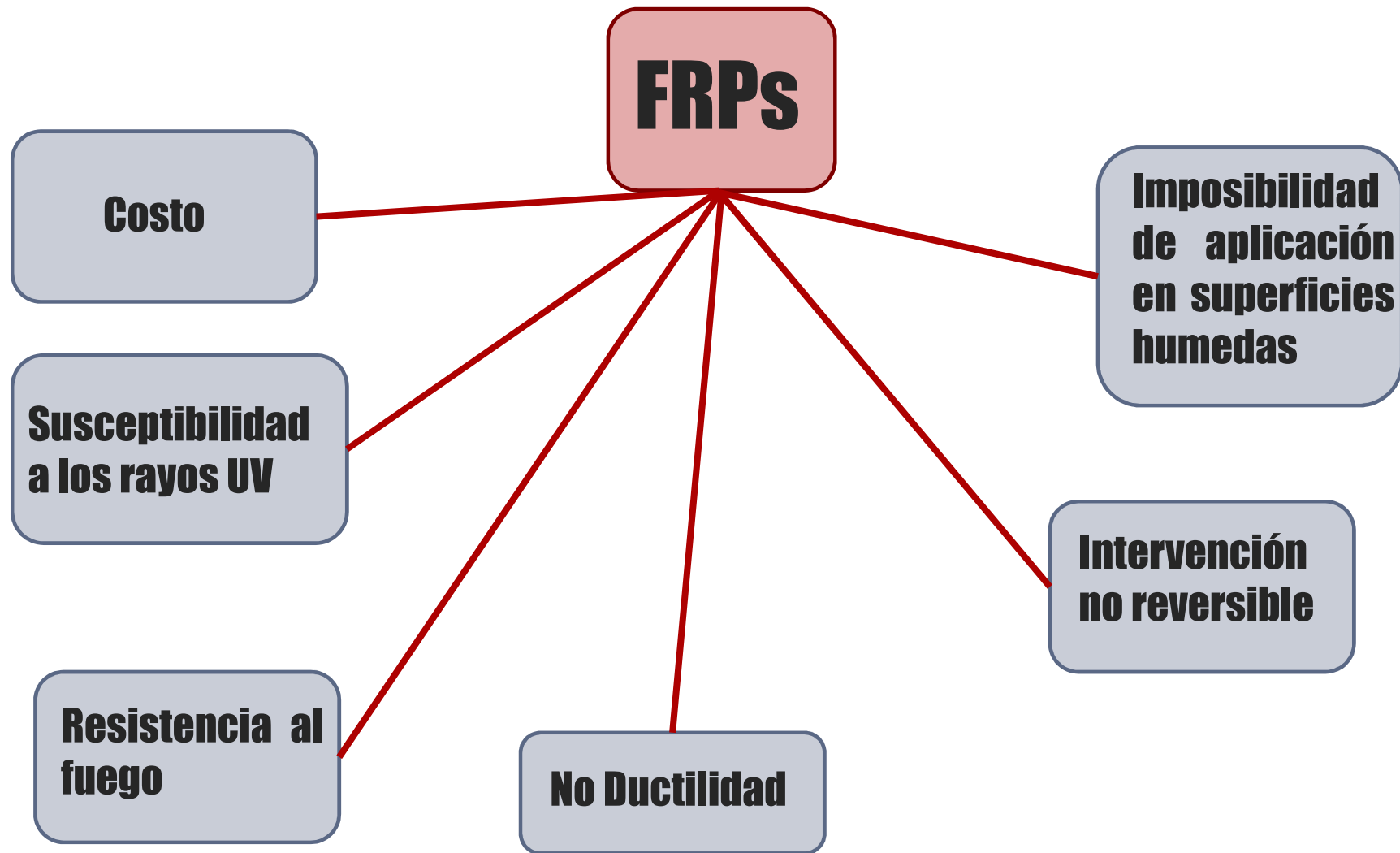
Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

# VENTAJAS



Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

# DESVENTAJAS

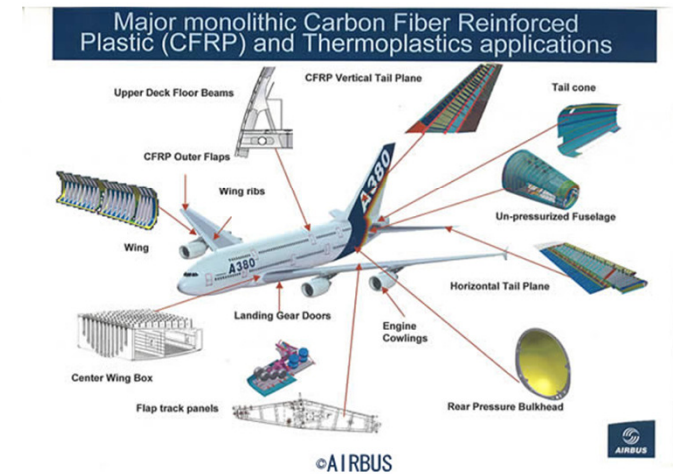


Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)



# FRPs

- **Desarrollo inicial en la industria automotriz, marítima, aeroespacial y de productos deportivos (desde hace mas de 50 años)**



Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

# DESARROLLO HISTORICO

Extensión de su uso y  
crecimiento continuado

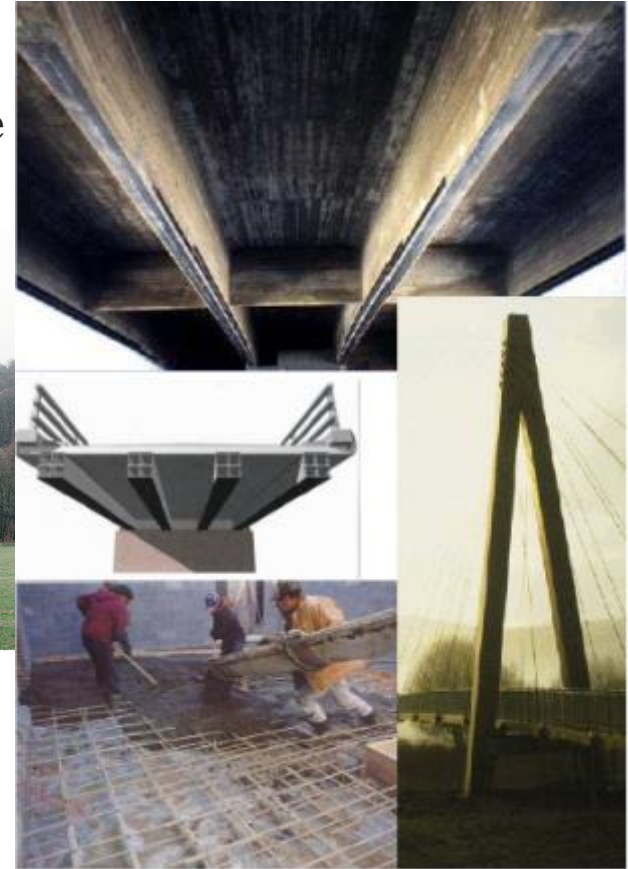
Ciment armè  
(1ra patente)



Lünen'sche Gasse  
FRP Postensado



Kattenbusch bridge  
Reforzamiento



1850

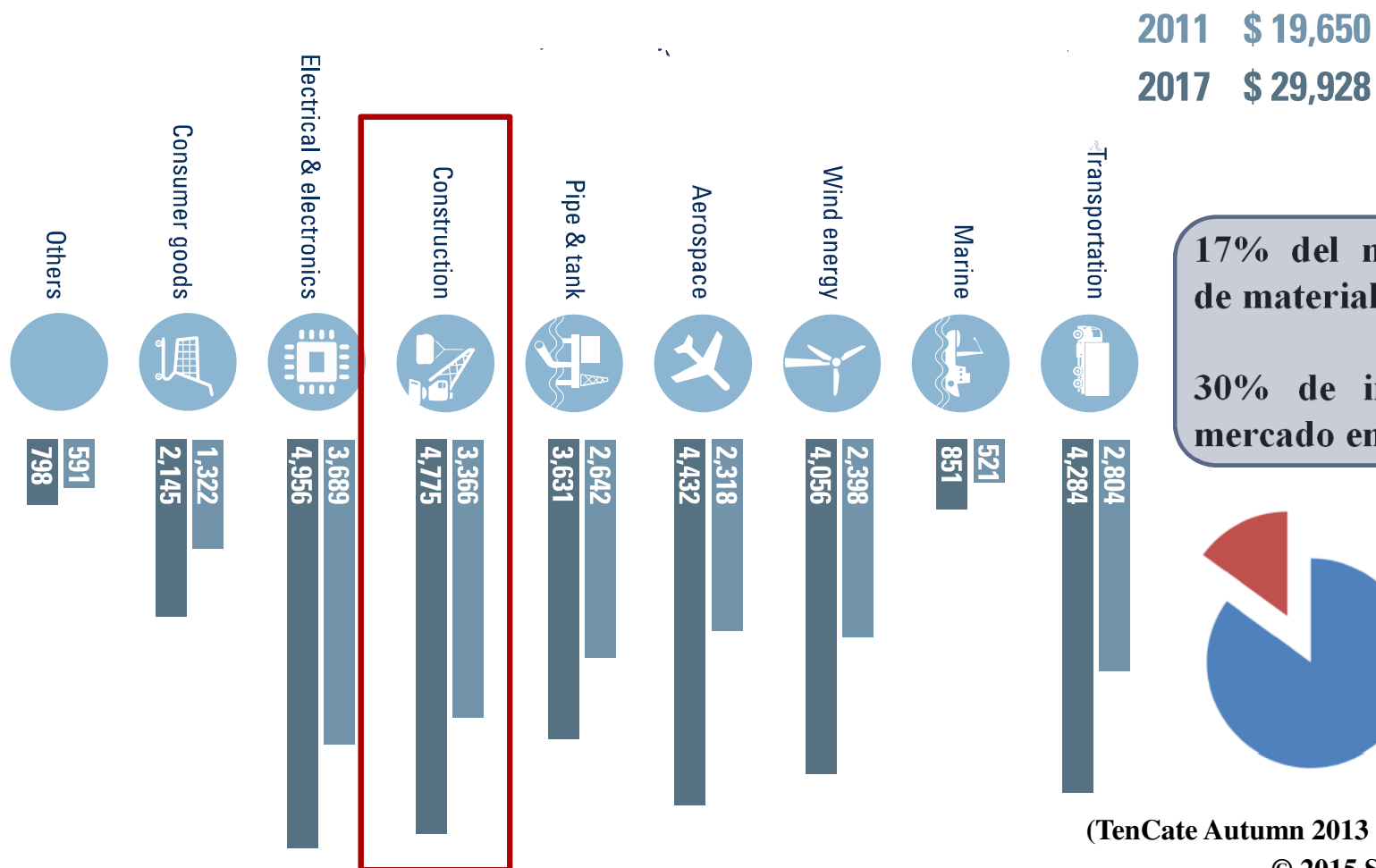
1980

1987

1990's

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)





(TenCate Autumn 2013 market study)  
 © 2015 Stijn Matthys

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

## FACTORES DE IMPULSO Y RESTRICCIONES DEL MERCADO

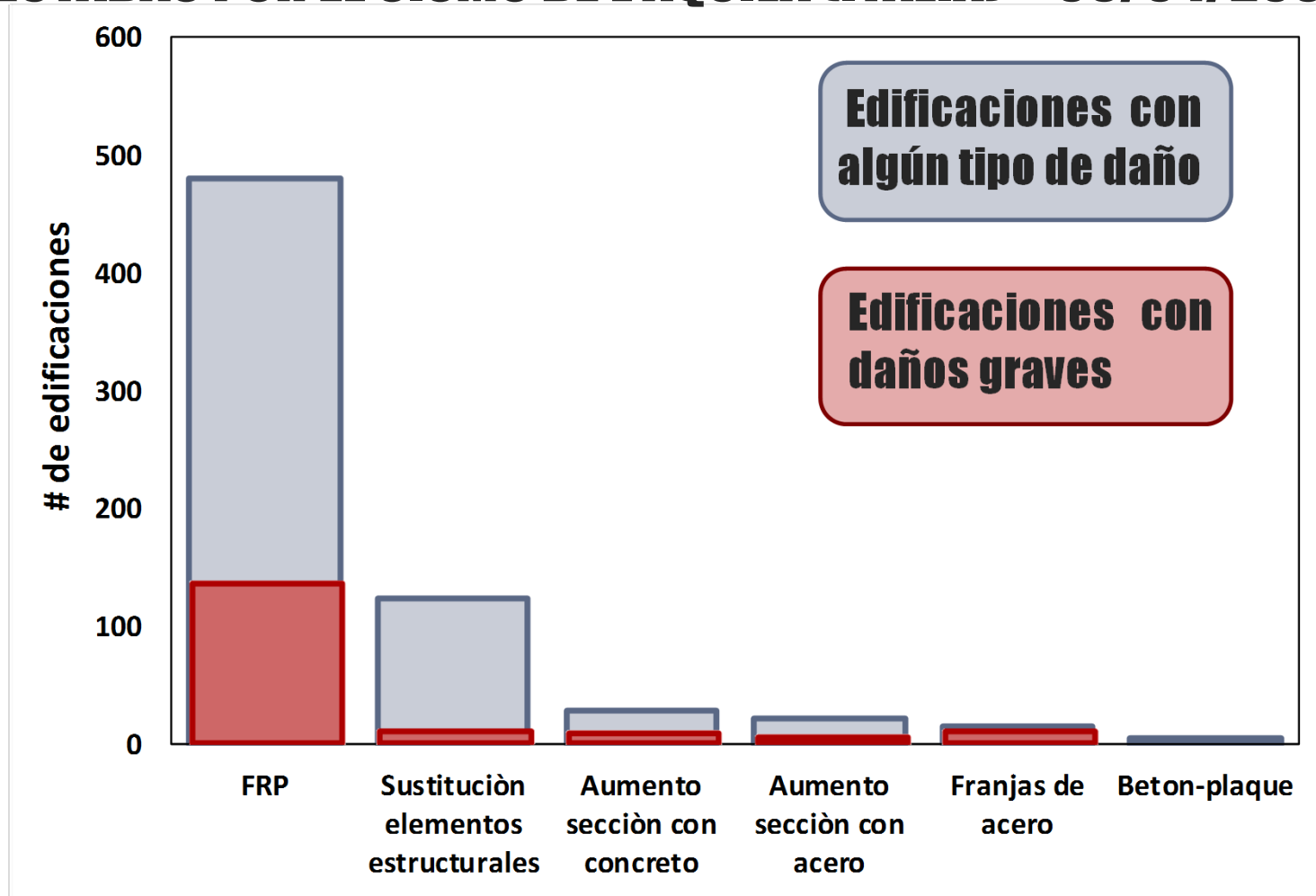


© 2015 Stijn Matthys

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

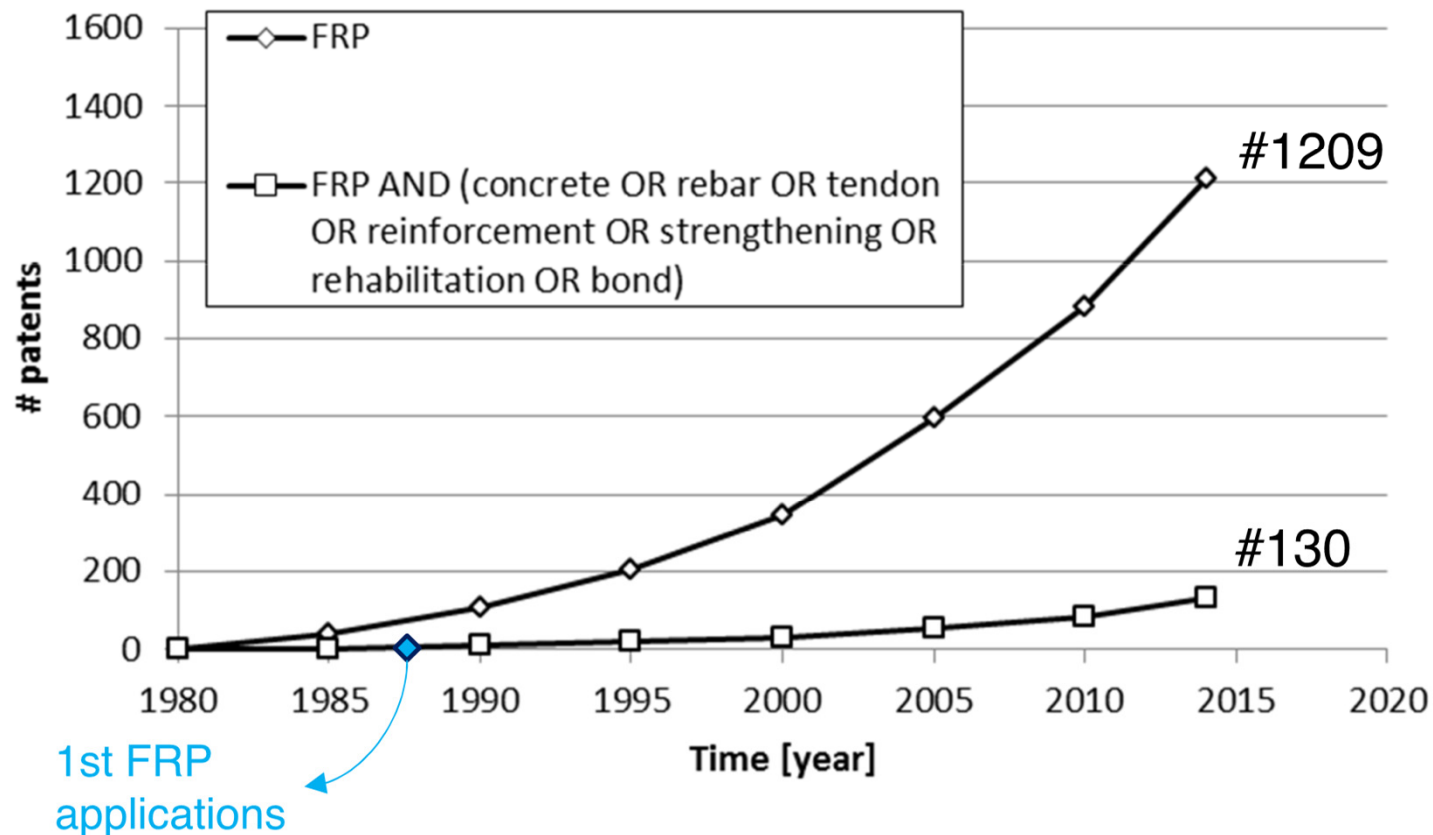


# INTERVENCIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO AFECTADAS POR EL SISMO DE L'AQUILA (ITALIA) – 06/04/2009



Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

## Industry activity by patents



(Thomson Reuters, Thomson Innovation patent search collection)

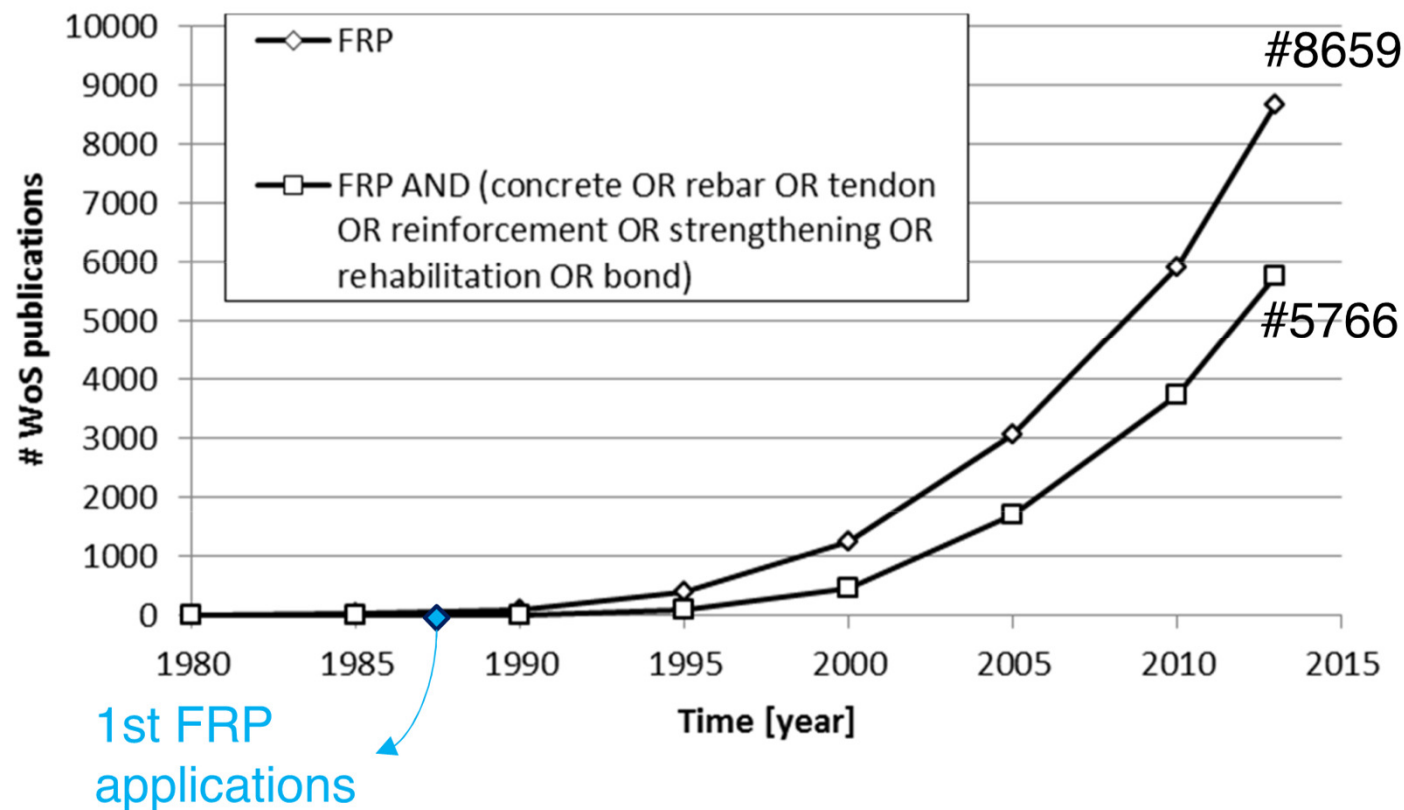
© 2015 Stijn Matthys

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)





## Back-log of scientific knowledge



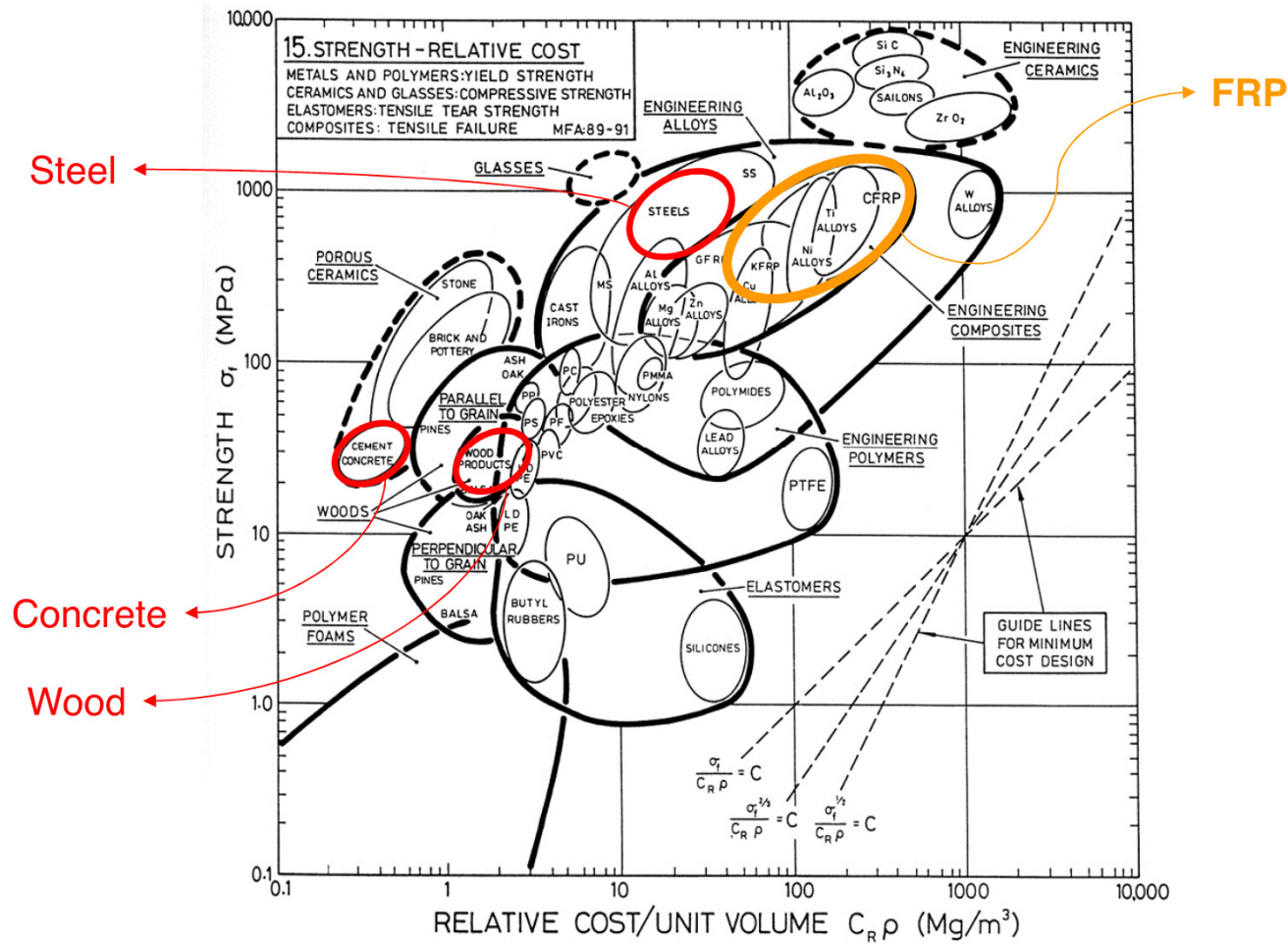
(Thomson Reuters, Web of Knowledge)

© 2015 Stijn Matthys

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)



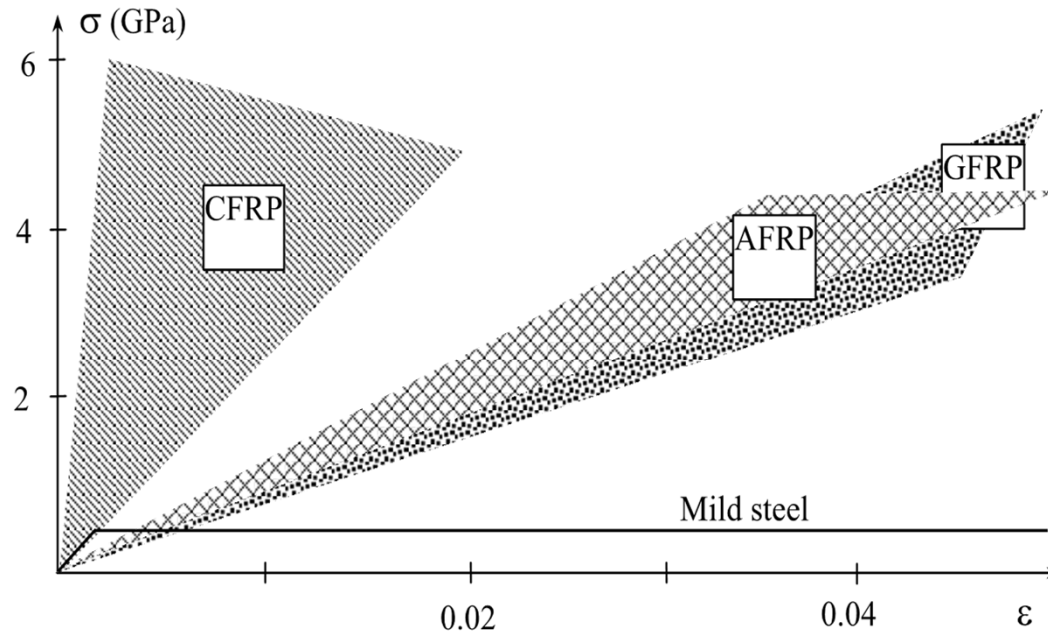
# MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)



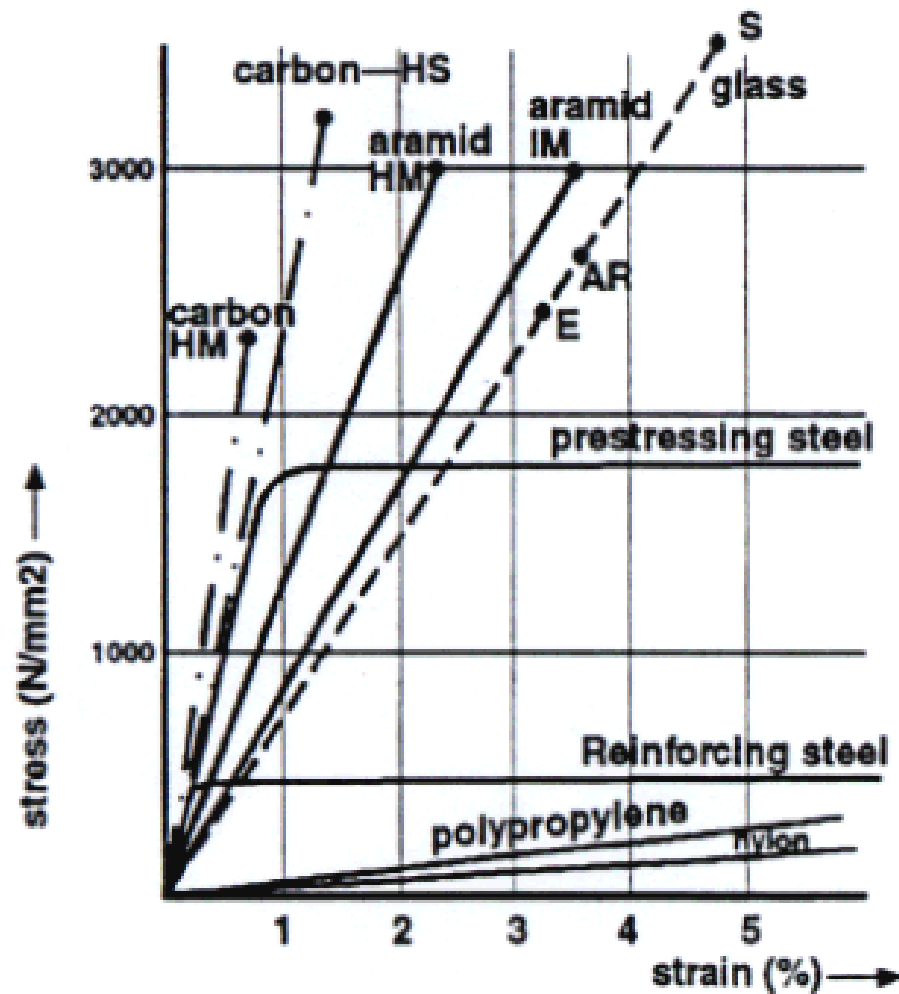
# PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS FPRS



- **Comportamiento lineal elástico hasta la rotura.**
- **No presentan ductilidad**
- **Mayor resistencia ultima**
- **Menor deformación unitaria ultima**
- **Módulo elástico comparable al del acero (CFRP)**

*Uniaxial tension stress-strain diagrams for different unidirectional FRPs and steel. CFRP = carbon FRP, AFRP = aramid FRP, GFRP = glass FRP.*

# PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS FIBRAS



| Material            | Elastic modulus (GPa) | Tensile strength (MPa) | Ultimate tensile strain (%) |
|---------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------------|
| Carbon              |                       |                        |                             |
| High strength       | 215-235               | 3500-4800              | 1.4-2.0                     |
| Ultra high strength | 215-235               | 3500-6000              | 1.5-2.3                     |
| High modulus        | 350-500               | 2500-3100              | 0.5-0.9                     |
| Ultra high modulus  | 500-700               | 2100-2400              | 0.2-0.4                     |
| Glass               |                       |                        |                             |
| E                   | 70                    | 1900-3000              | 3.0-4.5                     |
| S                   | 85-90                 | 3500-4800              | 4.5-5.5                     |
| Aramid              |                       |                        |                             |
| Low modulus         | 70-80                 | 3500-4100              | 4.3-5.0                     |
| High modulus        | 115-130               | 3500-4000              | 2.5-3.5                     |

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

# PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS FIBRAS

## CARBONO

- Mayor módulo elástico y resistencia.
- Mayor costo
- Posibilidad de corrosión en contacto con metales
- Mejor durabilidad

## VIDRIO

- Menor costo
- Propiedades mecánicas inferiores con respecto a las fibras de carbono
- Problemas de durabilidad en presencia de agua, ácidos y soluciones alcalinas
- Reducción de las propiedades mecánicas frente a esfuerzos sostenidos

## ARAMIDA

- Mayor tenacidad y resistencia a la fatiga
- Alta resistencia y bajo módulo de elasticidad
- Baja o moderada resistencia contra los ácidos y baja resistencia a los rayos UV

## OTROS TIPOS DE FIBRA

- BASALTO: Propiedades iguales o mejores que las fibras de vidrio
- PBO: Propiedades similares a las fibras de carbono

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

# PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS MATRICES

Las matrices pueden ser resinas de tipo **termoestable** (thermosetting) o de tipo termoplástico (thermoplastic), siendo la primera la más común.

## TERMOESTABLES



- Estado líquido a temperatura ambiente antes del curado
- Reacción química ocurre durante el curado
- Estado sólido después del curado que no puede reversarse.

## TERMOPLÁSTICAS



- Estado sólido a temperatura ambiente
- Incremento de temperatura necesario para obtener estado líquido e impregnación de las fibras
- Estado sólido después del curado puede reversarse.

**La matriz tiene una gran influencia en varias propiedades mecánicas del compuesto, tales como el módulo transversal y la resistencia, las propiedades de corte y las propiedades de compresión.**

# PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS MATRICES

## POLIÉSTERES

Ventajas:

- Facilidad de uso
- Bajo costo

Desventajas:

- Sensibilidad a los rayos UV
- Propiedades mecánicas moderadas

## ÉSTERES DE VINILO

Ventajas

- Alta resistencia química/mecánica
- Propiedades mecánicas mejores que los poliesteres

Desventajas:

- Sensibilidad al calor
- Costo mayor comparado a los poliesteres

## RESINAS EPOXÍDICAS

Ventajas

- Altas propiedades mecánicas y térmicas
- Alta resistencia a la humedad
- Mayores tiempos de manejo
- Alta resistencia a la temperatura

Desventajas:

- Mayor precio

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

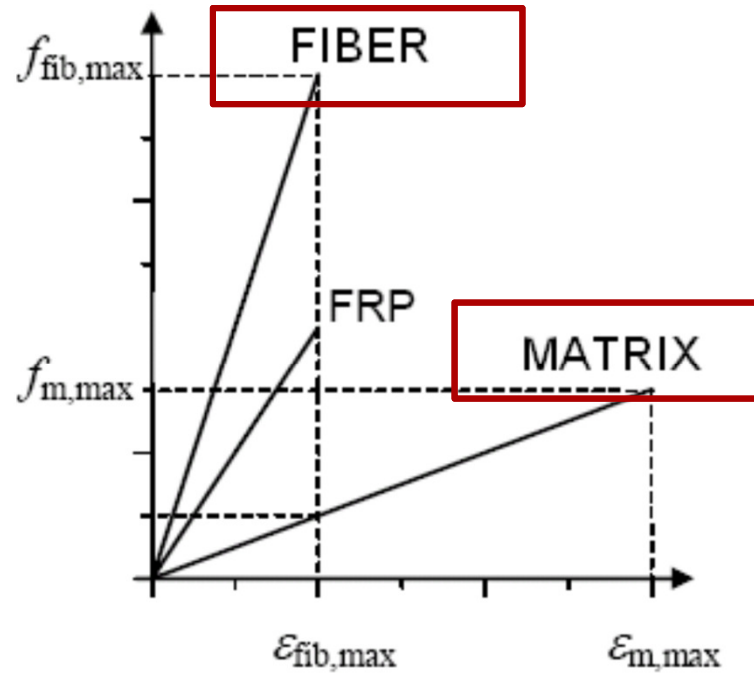
# PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS MATRICES

| Resin type  | Tensile strength<br>[MPa] | Modulus of elasticity<br>[GPa] | Density<br>[kg/m <sup>3</sup> ] | Cure shrinkage<br>[%] |
|-------------|---------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-----------------------|
| Polyester   | 35-104                    | 2.1-3.5                        | 1100-1400                       | 5-12                  |
| Vinyl ester | 73-81                     | 3.0-3.5                        | 1100-1300                       | 5-10                  |
| Epoxy       | 55-130                    | 2.8-4.1                        | 1200-1300                       | 1-5                   |

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)



# PROPIEDADES MECÁNICAS DE FRPS



**Tipo de fibra y matriz**

**Proporción fibra/matriz**

**Orientamiento de las fibras**

**Figure 2-1** – Stress-strain relationship of fibers, matrix and FRP.

$$E_f = E_{fib} V_{fib} + E_m V_m$$

$$f_f \approx f_{fib} V_{fib} + f_m V_m$$

# PROPIEDADES MECÁNICAS DE FRPS

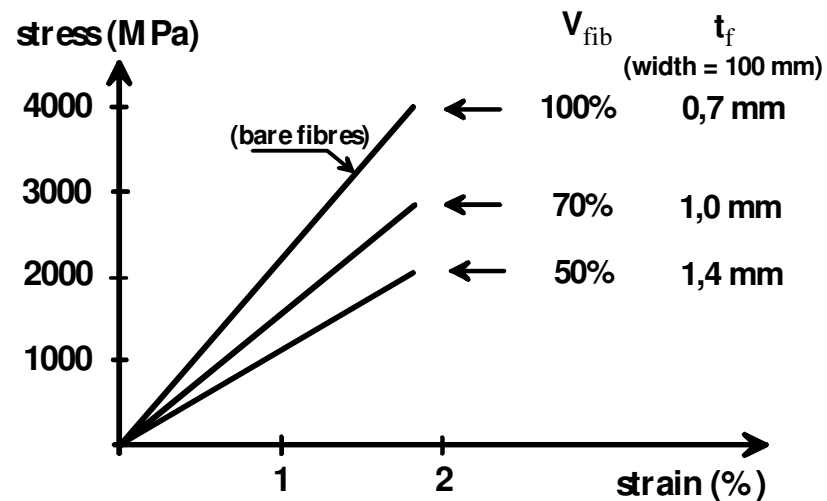
Chosen properties for constituent materials of FRP composite:

$E_{fib}=220$  GPa       $f_{fib} = 4000$  MPa

$E_m= 3$  GPa       $f_m = 80$  MPa

| Cross-sectional area            |                             |                               | $V_{fib}$<br>(%) | FRP-properties                |                               |                        | Failure load |       |
|---------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------|--------------|-------|
| $A_{fib}$<br>(mm <sup>2</sup> ) | $A_m$<br>(mm <sup>2</sup> ) | $A_f^*$<br>(mm <sup>2</sup> ) |                  | $E_f$<br>[eq. (2-1)]<br>(MPa) | $f_f$<br>[eq. (2-2)]<br>(MPa) | Ultimate strain<br>(%) | (kN)         | (%)   |
| 70                              | 0                           | 70                            | 100              | 220000                        | 4000                          | 1.818                  | 280.0        | 100.0 |
| 70                              | 30                          | 100                           | 70               | 154900                        | 2824                          | 1.823                  | 282.4        | 100.9 |
| 70                              | 70                          | 140                           | 50               | 111500                        | 2040                          | 1.830                  | 285.6        | 102.0 |

\* In case of a strip with a width of 100 mm dividing this value by 100 mm gives the thickness of the strip (resp. 0.7 mm, 1.0 mm and 1.4 mm).



Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)



# PROPIEDADES MECÁNICAS DE FRPS

| Property                     | CFRP     | GFRP     | AFRP     |
|------------------------------|----------|----------|----------|
| Tensile strength [MPa]       | 600-3000 | 400-1600 | 600-2500 |
| Modulus of elasticity [GPa]  | 80-500   | 30-60    | 30-125   |
| Failure strain [%]           | 0.5-1.8  | 1.2-3.7  | 1.8-4.0  |
| Density [kg/m <sup>3</sup> ] | ~1550    | ~1950    | ~1400    |

G: glass; C: carbon; A: aramide

## FRP versus concrete and steel

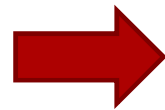
| Property                                  | FRP <sup>(a)</sup>             | Fibre <sup>(a)</sup>                              | Epoxy     | Concrete  | Steel    |
|-------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------|-----------|-----------|----------|
| Compr.strength [MPa]                      | 125-2400                       | -                                                 | 55-100    | 25-150    | 200-2000 |
| Tensile strength [MPa]                    | 400-3000                       | 1800-5000                                         | 9-20      | 1-6       | 200-2000 |
| E-modulus [GPa]                           | 35-500                         | 60-800                                            | 0.5-20    | 25-50     | ≈ 200    |
| CTE <sup>(b)</sup> [10 <sup>-6</sup> /°C] | ≈ 0 (long.)<br>25-35 (transv.) | -6.0-5.0 (long.)<br>≈ 45 <sup>(c)</sup> (transv.) | 25-30     | 8-12      | ≈ 10     |
| Density [kg/m <sup>3</sup> ]              | 1300-2200                      | 1400-2600                                         | 1200-1300 | ≈ 2400    | ≈ 7800   |
| Poisson ratio [-]                         | 0.25-0.35                      | 0.25-0.35                                         | ≈ 0.30    | 0.15-0.20 | 0.30     |

(a) FRP based on glass, carbon or aramid fibre with epoxy matrix.

(b) CTE: coefficient of thermal expansion

(c) For aramid fibre (for carbon and glass the transverse CTE is similar to the longitudinal CTE).

## TIPOS DE REFORZAMIENTO



**Incremento de la resistencia a flexión  
y la rigidez (menores deflexiones)**



**Incremento de la resistencia a  
cortante**



**Incremento de la capacidad axial de  
columnas**

# SISTEMAS DE REFORZAMIENTO FRP-EBR



**Externally Bonded Reinforcement**

**Refuerzo adherido externamente**

**Sistema  
precurado  
(prefabricado)**



**Manufacturados en varias formas (láminas, bandas, varillas u otros), fabricados mediante pultrusión u otros procesos y que son pegados al elemento estructural a ser reforzado)**

**Sistema  
impregnado *in situ***



**Tejidos uni-, bi- o multi-direccionales impregnadas con una resina que sirve también como adhesivo con el sustrato de interes**

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

# REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO SISTEMA PRECURADO (PREFABRICADO)



Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)



# REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO SISTEMA IMPREGNADO IN SITU



Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

|                            | PREFAB (PRE-CURED)                                                                                                                                        | WET LAY-UP (IN-SITU CURING)                                                             |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Shape of FRP</i>        | Strips or laminates                                                                                                                                       | Sheets or fabrics                                                                       |
| <i>Thickness</i>           | About 1.0 to 1.5 mm                                                                                                                                       | About 0.1 to 0.5 mm                                                                     |
| <i>Bonding agent</i>       | Thixotropic adhesive for bonding                                                                                                                          | Low viscosity resin for bonding and impregnation                                        |
| <i>Application</i>         | Simple bonding of the factory made elements with adhesive                                                                                                 | Bonding and impregnation of the sheets or fabrics with resin (shaped and cured in-situ) |
| <i>Applicability</i>       | If not pre-shaped only for flat surfaces                                                                                                                  | Regardless of the shape, sharp corners should be rounded                                |
| <i>Number of layers</i>    | Normally 1 layer, multiple layers possible                                                                                                                | Often multiple layers                                                                   |
| <i>Surface unevenness</i>  | Stiffness of strip and use of thixotropic adhesive allow for certain surface unevenness                                                                   | Often a putty is needed to prevent debonding due to unevenness                          |
| <i>Ease-of-application</i> | Simple in use, higher quality guarantee (prefab system)                                                                                                   | Very flexible in use, needs rigorous quality control                                    |
| <i>Quality control</i>     | Wrong application and bad workmanship = loss of composite action between FRP EBR and substrate/structure, lack of long term integrity of the system, etc. |                                                                                         |

Febbrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)



ACI 440.2R-08

# NORMATIVA

CNR – Advisory Committee on Technical Recommendations for Construction

**NATIONAL RESEARCH COUNCIL**

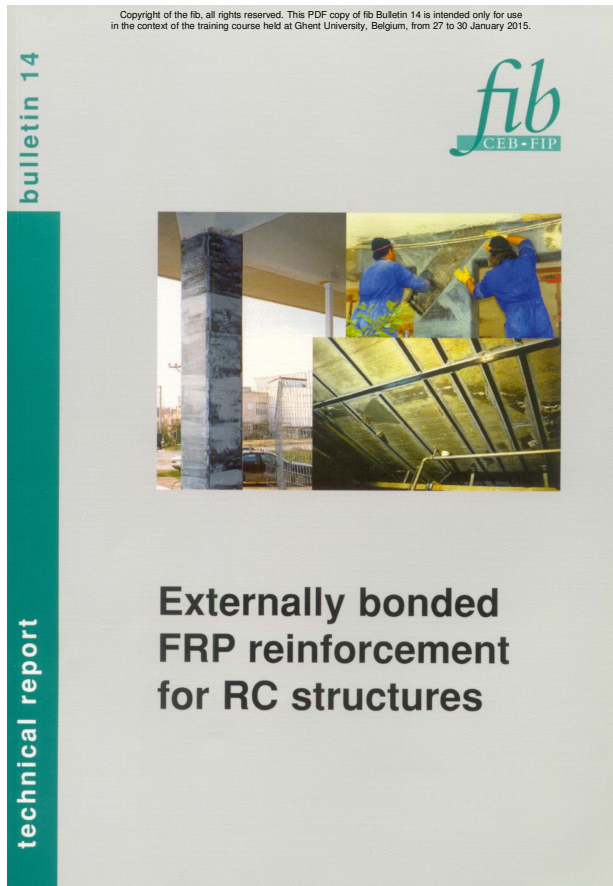
ADVISORY COMMITTEE  
ON TECHNICAL RECOMMENDATIONS FOR CONSTRUCTION

## Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures

Reported by ACI Committee 440



American Concrete Institute®



## Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures

Materials, RC and PC structures, masonry structures



CNR-DT 200 R1/2013

ROMA – CNR October 10<sup>th</sup> 2013 – release of May 15<sup>th</sup> 2014

Febbraio 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)





# NORMATIVA

CNR – Advisory Committee on Technical Recommendations for Construction

**NATIONAL RESEARCH COUNCIL**

ADVISORY COMMITTEE  
ON TECHNICAL RECOMMENDATIONS FOR CONSTRUCTION

**Guide for the Design and Construction  
of Externally Bonded FRP Systems  
for Strengthening Existing Structures**

Materials, RC and PC structures, masonry structures



CNR-DT 200 R1/2013

ROMA – CNR October 10<sup>th</sup> 2013 – release of May 15<sup>th</sup> 2014

CNR – Comité de Estudio para el Análisis de Normas Técnicas para la Construcción

**CONSEJO NACIONAL ITALIANO DE INVESTIGACION**

COMITÉ ASESOR DE RECOMENDACIONES TÉCNICAS  
SOBRE LA PREDISPOSICIÓN DE NORMAS TÉCNICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN

**Guía para el Diseño y Construcción  
de Sistemas FRP Pegados Externamente  
para el Reforzamiento de Estructuras Existentes**

Materiales, Estructuras de Concreto Reforzado, Estructuras de  
Concreto Presforzado y Estructuras de Mampostería



CNR-DT 200 R1/2014

ROMA – CNR 10 de Octubre 2013 – versión del 15 de Mayo 2014

**Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)**



# NORMATIVA

CNR-DT 200 R1/2014

## INDICE

|                                                                                           |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 PREFACIO</b>                                                                         | <b>1</b>  |
| 1.1 PROPOSITO                                                                             | 1         |
| 1.2 SIMBOLOS                                                                              | 2         |
| <b>2 MATERIALES</b>                                                                       | <b>6</b>  |
| 2.1 INTRODUCCION                                                                          | 6         |
| 2.2 CLASIFICACION DE SISTEMAS DE REFORZAMIENTO FRP                                        | 6         |
| 2.2.1 Propiedades Mecánicas de sistemas de reforzamiento FRP                              | 7         |
| 2.2.2 Sistemas precurados                                                                 | 9         |
| 2.2.3 Sistemas impregnados <i>in situ</i>                                                 | 9         |
| 2.2.4 Sistema pre-impregnados                                                             | 12        |
| 2.3 CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES                                                  | 12        |
| 2.3.1 Tareas y responsabilidades de los profesionales                                     | 12        |
| 2.4 TRANSPORTE, ALMACENAMIENTO, PRESERVACION, MANEJO Y USO                                | 12        |
| <b>3 BASES DE DISEÑO PARA REFORZAMIENTO FRP</b>                                           | <b>15</b> |
| 3.1 REQUISITOS BASICOS                                                                    | 15        |
| 3.2 REQUISITOS DE DURABILIDAD                                                             | 16        |
| 3.3 PRINCIPIOS GENERALES DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO                                      | 16        |
| 3.3.1 Generalidades                                                                       | 16        |
| 3.3.2 Vida de servicio y carga de diseño                                                  | 16        |
| 3.3.3 Propiedades de los materiales FRP y valores de cálculo                              | 17        |
| 3.3.4 Capacidad de diseño                                                                 | 17        |
| 3.4 FACTORES PARCIALES                                                                    | 18        |
| 3.4.1 Factor parcial $\gamma_m$ para FRP                                                  | 18        |
| 3.4.2 Factores parciales $\gamma_{m,d}$ para modelos de resistencia                       | 18        |
| 3.5 PROBLEMAS ESPECIALES DE DISEÑO Y FACTORES DE CONVERSION RELATIVOS                     | 18        |
| 3.5.1 Acciones ambientales y factores de conversión ambientales                           | 18        |
| 3.5.2 Modalidad de carga y factores de conversión para efectos de larga duración          | 20        |
| 3.5.3 Resistencia a las acciones causadas por impacto y explosiones                       | 21        |
| 3.5.4 Vandalismo                                                                          | 21        |
| 3.6 LIMITACIONES DE REFORZAMIENTO EN CASO DE INCENDIO                                     | 21        |
| <b>4 REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO Y PRETENSADO</b>                  | <b>22</b> |
| 4.1 VALIDACION DE LA RESISTENCIA RESPECTO AL DESPEGAMIENTO EN EL SOPORTE                  | 22        |
| 4.1.1 Mecanismos de rotura por el despegamiento del soporte                               | 22        |
| 4.1.2 Verificación de seguridad relativo a la separación de las láminas en el soporte     | 23        |
| 4.1.3 Resistencia al Estado Límite Último por separación de lámina en el extremo (modo 1) | 24        |
| 4.1.4 Resistencia al Estado Límite Último por separación de lámina intermedio (modo 2)    | 25        |
| 4.1.5 Verificación de las tensiones de interfaz para el Estado Límite de Servicio         | 26        |
| 4.2 REFORZAMIENTO A FLEXION                                                               | 27        |
| 4.2.1 Generalidades                                                                       | 27        |
| 4.2.2 Análisis del comportamiento al Estado Límite Último                                 | 28        |
| 4.2.3 Análisis del comportamiento al Estado Límite de Servicio                            | 28        |

i

CNR-DT 200 R1/2014

|                                                                                         |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.2.4 Ductilidad                                                                        | 34        |
| 4.3 REFORZAMIENTO AL CORTE                                                              | 35        |
| 4.3.1 Generalidades                                                                     | 35        |
| 4.3.2 Configuraciones de reforzamiento                                                  | 35        |
| 4.3.3 Resistencia de diseño al corte de elementos reforzados FRP                        | 36        |
| 4.4 REFORZAMIENTO A TORSION                                                             | 39        |
| 4.4.1 Generalidades                                                                     | 39        |
| 4.4.2 Configuraciones de reforzamiento                                                  | 39        |
| 4.4.3 Resistencia de diseño torsional de elementos reforzados FRP                       | 39        |
| 4.5 CONFINAMIENTO                                                                       | 40        |
| 4.5.1 Generalidades                                                                     | 40        |
| 4.5.2 Resistencia de diseño axial de elementos confinados FRP                           | 41        |
| 4.5.3 Ductilidad de los elementos a flexo-compresión confinados con FRP                 | 46        |
| 4.6 REFORZAMIENTO A LA FLEXION DE ELEMENTOS DE CONCRETO PRETENSADO                      | 46        |
| 4.6.1 Uso de FRP para elementos de concreto pretensado                                  | 46        |
| 4.7 DISEÑO PARA APLICACIONES SISMICAS                                                   | 47        |
| 4.7.1 Generalidades                                                                     | 47        |
| 4.7.2 Principios generales para reforzamiento FRP                                       | 48        |
| 4.8 INSTALACION Y DETALLES CONSTRUCTIVOS                                                | 48        |
| 4.8.1 Control de calidad y preparación del sustrato                                     | 51        |
| 4.8.2 Recomendaciones para la instalación                                               | 51        |
| 4.9 EJEMPLOS NUMERICOS                                                                  | 53        |
| <b>5 REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA</b>                                    | <b>54</b> |
| 5.1 GENERALIDADES                                                                       | 54        |
| 5.1.1 Objeto y ámbito de aplicación                                                     | 54        |
| 5.1.2 Reforzamiento de edificios históricos y monumentales                              | 54        |
| 5.1.3 Criterio de diseño de reforzamiento FRP                                           | 54        |
| 5.2 VALIDACION DE LA SEGURIDAD                                                          | 55        |
| 5.2.1 Modelación estructural                                                            | 55        |
| 5.2.2 Criterios de verificación                                                         | 55        |
| 5.2.3 Verificación de la seguridad                                                      | 56        |
| 5.3 EVALUACION DEL ESFUERZO DE DESPEGAMIENTO                                            | 57        |
| 5.3.1 Consideraciones generales y modos de falla                                        | 58        |
| 5.3.2 Resistencia de diseño para despegamiento del extremo de la lámina/banda           | 58        |
| 5.3.3 Resistencia de diseño por despegamiento intermedio                                | 61        |
| 5.3.4 Resistencia de pegado en presencia de acciones normales a la superficie de pegado | 62        |
| 5.3.5 Dispositivos mecánicos de anclaje                                                 | 62        |
| 5.4 REQUISITOS DE SEGURIDAD                                                             | 62        |
| 5.4.1 Reforzamiento de paneles de mampostería                                           | 62        |
| 5.4.2 Areas de amarre y dintel                                                          | 71        |
| 5.5 REFORZAMIENTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES CON SIMPLE O DOBLE CURVATURA               | 72        |
| 5.5.1 Arcos                                                                             | 73        |
| 5.5.2 Bóvedas de curvatura simple: bóvedas de cañón                                     | 74        |
| 5.5.3 Bóvedas de doble curvatura: domos                                                 | 75        |
| 5.5.4 Bóvedas de doble curvatura sobre una planta cuadrada                              | 76        |
| 5.6 CONFINAMIENTO DE COLUMNAS DE MAMPOSTERIA                                            | 76        |
| 5.6.1 Diseño de elementos confinados cargados axialmente                                | 77        |
| 5.6.2 Confinamiento de columnas circulares                                              | 78        |

ii

CNR-DT 200 R1/2014

|                                                                                         |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.6.3 Confinamiento de columnas cuadradas o rectangulares                               | 80         |
| 5.7 DISEÑO PARA APLICACIONES SISMICAS                                                   | 83         |
| 5.7.1 Generalidades                                                                     | 83         |
| 5.7.2 Criterio de selección para reforzamiento FRP                                      | 84         |
| 5.8 DETALLES DE CONSTRUCCION E INSTALACIONES                                            | 84         |
| 5.8.1 Control de calidad y preparación de sustrato                                      | 85         |
| 5.8.2 Recomendaciones para instalación                                                  | 86         |
| 5.9 EJEMPLOS NUMERICOS                                                                  | 87         |
| <b>6 CONTROL Y MONITOREO</b>                                                            | <b>88</b>  |
| 6.1 CONTROL DE CALIDAD EN EL SITIO DE CONSTRUCCION                                      | 88         |
| 6.2 CONTROL DE CALIDAD DURANTE LA INSTALACION                                           | 88         |
| 6.2.1 Tests semi-destructivos                                                           | 88         |
| 6.2.2 Tests no destructivos                                                             | 90         |
| 6.3 CALIFICACION DEL PERSONAL                                                           | 90         |
| 6.4 MONITOREO DEL SISTEMA DE REFORZAMIENTO                                              | 91         |
| <b>7 APENDICE A (COMPONENTES DE LOS FRP Y SUS CARACTERISTICAS FISICO-MECANICAS)</b>     | <b>92</b>  |
| 7.1 GENERALIDADES                                                                       | 92         |
| 7.2 FIBRAS USADAS EN COMPUESTOS                                                         | 94         |
| 7.2.1 Tipos de fibras disponibles en el mercado y su clasificación                      | 95         |
| 7.2.2 Tejidos no impregnados                                                            | 100        |
| 7.3 MATRICES DE LOS COMPUESTOS FRP                                                      | 101        |
| 7.3.1 Resinas epóxicas                                                                  | 102        |
| 7.3.2 Resinas de poliéster                                                              | 102        |
| 7.3.3 Otros tipos de resinas                                                            | 103        |
| 7.4 ADHESIVOS                                                                           | 103        |
| <b>8 APENDICE B (TECNICAS DE FABRICACION)</b>                                           | <b>105</b> |
| 8.1 GENERALIDADES                                                                       | 105        |
| 8.1.1 Pultrusión                                                                        | 106        |
| 8.1.2 Laminación                                                                        | 107        |
| 8.1.3 Pre-impregnado <i>in situ</i>                                                     | 107        |
| <b>9 APENDICE C (RELACION ESFUERZO-DEFORMACION UNITARIA DE FRP)</b>                     | <b>108</b> |
| 9.1 COMPORTAMIENTO MECANICO DE LOS COMPUESTOS                                           | 108        |
| 9.2 ESTADO PLANO DE TENSIONES                                                           | 110        |
| 9.2.1 Efecto de acción de la carga en direcciones diferentes a la simetría del material | 111        |
| 9.3 CRITERIOS DE FALLA                                                                  | 113        |
| <b>10 APENDICE D (DESPEGAMIENTO)</b>                                                    | <b>116</b> |
| 10.1 FALLA DEBIDO A DESPEGAMIENTO                                                       | 116        |
| 10.2 PEGADO ENTRE FRP Y EL CONCRETO                                                     | 117        |
| 10.2.1 Energía específica de Fractura                                                   | 118        |
| 10.2.2 Ley de adherencia                                                                | 119        |
| 10.2.3 Longitud óptima de anclaje                                                       | 120        |
| 10.2.4 Despegamiento debido a fisuras flexionales                                       | 121        |
| 10.3 PEGADO ENTRE FRP Y LA MAMPOSTERIA                                                  | 121        |
| 10.3.1 Energía específica de fractura                                                   | 122        |
| 10.3.2 Ley de adherencia                                                                | 123        |
| 10.3.3 Longitud óptima de pegado                                                        | 124        |

iii

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)



## NORMATIVA

- El sistema de reforzamiento FRP será diseñado para satisfacer los requisitos de servicio, durabilidad y de resistencia al estado límite último (colapso). En caso de incendio, el esfuerzo del sistema seleccionado FRP será adecuado para el período de tiempo de exposición.
- El sistema de reforzamiento FRP deberá ser colocado en áreas de la estructura donde esfuerzos de tracción vayan a ocurrir. **El sistema de reforzamiento FRP no debe ser diseñado para soportar esfuerzos de compresión.**
- Si el reforzamiento FRP concierne a las estructuras de interés histórico y monumental, se requiere una evaluación crítica de la técnica de reforzamiento con respecto a los estándares para preservación y restauración de acuerdo al vínculo histórico de la estructura.

# PROPIEDADES DE LOS MATERIALES Y VALORES DE CÁLCULO

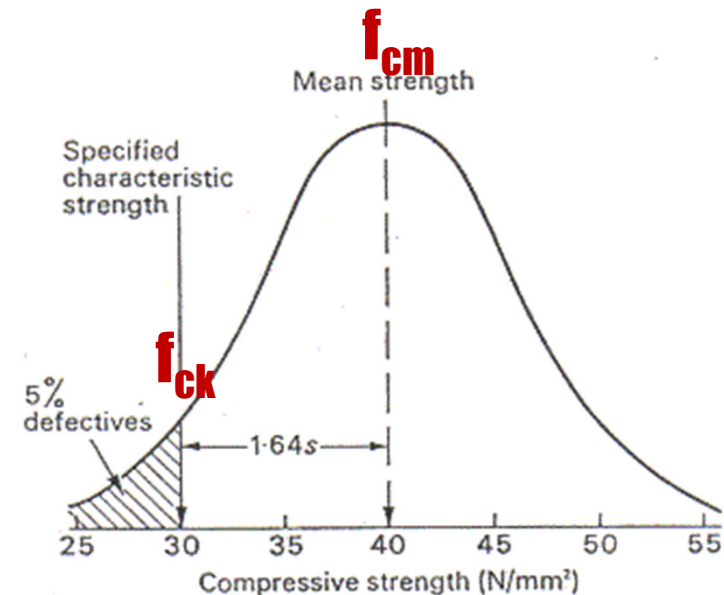
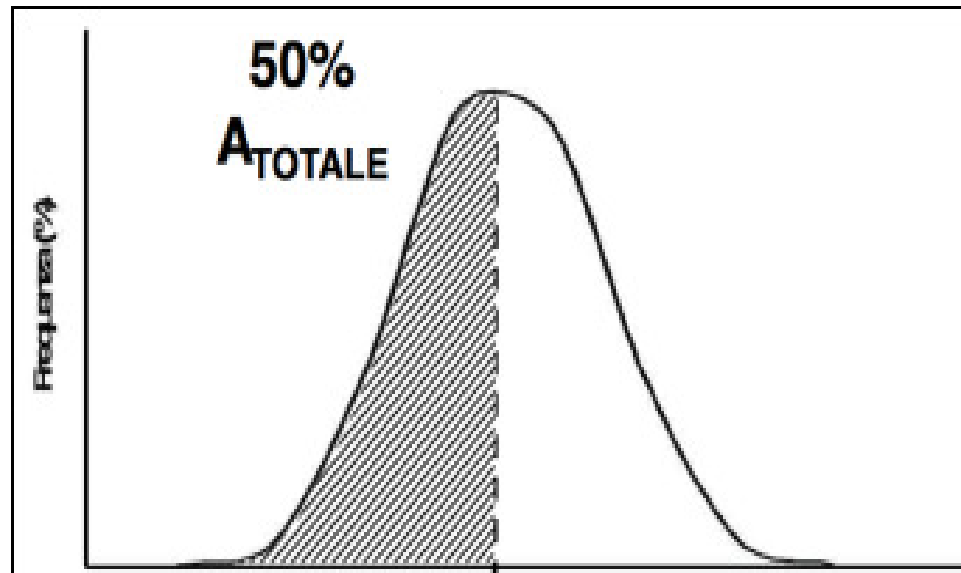
- El diseño con compuestos FRP será llevado a cabo tanto en términos de estado límite último (ELU), y de ser requerido el estado límite de servicio (ELS) como lo define el código de construcción vigente.
- Las estructuras y los elementos estructurales reforzados con FRP serán diseñados para un esfuerzo de diseño,  $R_d$ , en todas las secciones por lo menos igual al esfuerzo requerido,  $E_d$ , calculado para la carga amplificada de diseño y las fuerzas producto tales combinaciones como se estipula en el código de construcción.

$$E_d \leq R_d$$

- Los valores de diseño son obtenidos de los valores característicos a través de diferentes valores parciales apropiados para cada etapa límite como se indica en el código de construcción.

# PROPIEDADES DE LOS MATERIALES Y VALORES DE CÁLCULO

- Las propiedades de los materiales existentes en la estructura a ser reforzada serán obtenidas a partir de pruebas en laboratorio o pruebas in-situ y, cuando estén disponibles, de cualquier otro recurso adicional de información (documentos originales del proyecto, alguna documentación extra obtenida subsecuentemente, etc.).
- Los **valores característicos (5%)** serán usados para calcular **el esfuerzo máximo y la deformación máxima de los materiales FRP**. Los **valores promedio** serán usados para calcular las **propiedades mecánicas de los materiales existentes**.



Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

# PROPIEDADES DE LOS MATERIALES Y VALORES DE CÁLCULO

- El valor promedio deberá ser usado para calcular el módulo de elasticidad de FRP y materiales preexistentes.
- Para la propiedad genérica de un material FRP, el valor de diseño, , puede ser expresado como sigue:

$$X_d = \eta \frac{X_k}{\gamma_m}$$

Factor de conversión

ELS:  $\eta_1 \cdot \eta_a$

ELU:  $\eta_a$

**Tabla 3-3** – Factor de conversión para efectos de larga duración  $\eta_1$  para varios sistemas FRP en cargas de servicio

| Modalidad de carga      | Tipo de fibra/resina | $\eta_1$ |
|-------------------------|----------------------|----------|
| Carga de larga duración | Vidrio/Epóxico       | 0.30     |
|                         | Arámidico/Epóxico    | 0.50     |
|                         | Carbón/Epóxico       | 0.80     |
| Cíclico                 | Todos                | 0.50     |

**Tabla 3-2**– Factores de conversión ambiental  $\eta_a$  para varias condiciones de exposición y varios sistemas de FRP .

| Condiciones de exposición | Tipo de fibra/resina | $\eta_a$ |
|---------------------------|----------------------|----------|
| Internos                  | Vidrio/Epóxico       | 0.75     |
|                           | Arámidico/Epóxico    | 0.85     |
|                           | Carbón/Epóxico       | 0.95     |
| Externos                  | Vidrio/Epóxico       | 0.65     |
|                           | Arámidico/Epóxico    | 0.75     |
|                           | Carbón/Epóxico       | 0.85     |
| Medioambiente agresivo    | Vidrio/Epóxico       | 0.50     |
|                           | Arámidico/Epóxico    | 0.70     |
|                           | Carbón/Epóxico       | 0.85     |

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

# PROPIEDADES DE LOS MATERIALES Y VALORES DE CÁLCULO

$$X_d = \eta \cdot \frac{X_k}{\gamma_m}$$

Factor parcial del material

- Para los estados límites últimos, el valor asignado al factor parcial de los materiales FRP  $\gamma_m = \gamma_f$  es igual a 1.10. Cuando ocurre el despegue del material en ELU los valores de  $\gamma_m = \gamma_f$  pueden ser escogidos por el diseñador en un rango entre 1.20 a 1.50.
- Para el ELS, los valores de  $\gamma_m = \gamma_f$  pueden ser igual a 1.
- El valor de la propiedad genérica de un material preexistente, se obtiene como:

$$X_d = \cancel{\eta} \cdot \frac{X_k}{\text{FC}}$$

# CAPACIDAD DE DISEÑO

$$R_d = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot R \{ X_{d,i}; a_{d,i} \} .$$

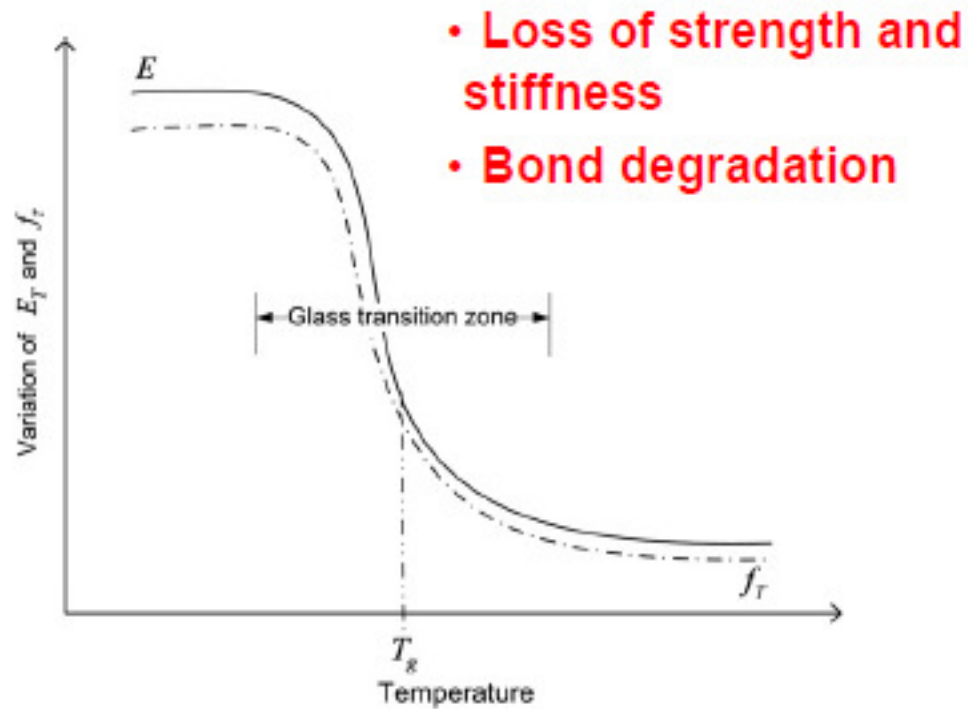
**Tabla 3-1** – Factores parciales  $\gamma_{Rd}$ .

| Modelo de resistencia      | $\gamma_{Rd}$ |
|----------------------------|---------------|
| Flexión y Flexo-compresión | 1.00          |
| Corte/Torsión              | 1.20          |
| Confinamiento              | 1.10          |

Como regla, la contribución del FRP al elemento reforzado no puede resultar mayor del 50% con respecto al elemento no reforzado. Tal limitación no aplica a cargas excepcionales o sísmicas.



## Behavioural aspects [FRP fire]



© 2015 Stijn Matthys

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

# TRAINING COURSE

## MODULO 1: INTRODUCCIÓN A LOS MATERIALES FRP Y A LA NORMATIVA PARA SU DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

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 y internacionales vigentes en materia de derechos de autor y copyright.

[www.gpintech.com](http://www.gpintech.com)

[info@gpintech.com](mailto:info@gpintech.com)

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

