

## REFUERZO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO

**Bértora, M. A.**

CONICET-LEMIT – Calle 52 s/n entre 121 y 122 – (54) 221 4831141/44 / Fax (54) 221 425 0471

E-mail: dirección@lemit.gov.ar

### RESUMEN

El estudio del refuerzo de estructuras presenta una especial importancia, debido a la necesidad de reutilizar estructuras existentes, ya sea para recuperar la resistencia perdida o por un cambio de destino que conlleve a un aumento de las cargas de servicio o la necesidad de construir más niveles que los originales.

En el presente trabajo se indican las principales modalidades de refuerzo de estructuras de hormigón armado y sus ventajas y desventajas relativas.

Se analizará el caso de una viga de hormigón armado en la que se plantearon dos alternativas de refuerzo: la primera con fibras de carbono y la segunda mediante planchuelas de acero. Se estudian ambas variantes en cuanto a sus posibilidades técnicas.

También se expondrán ensayos realizados en el Lemit, sobre prototipos de laboratorio que han sido reforzados bajo diferentes técnicas.

### INTRODUCCIÓN

La preservación del patrimonio arquitectónico se considera una cuestión fundamental en la vida de las sociedades modernas. Además de su interés histórico, los edificios del patrimonio cultural son muy importantes porque contribuyen de manera significativa al ofrecer lugares de interés clave en la industria del turismo. La necesidad de preservar las construcciones históricas, no es sólo un requisito cultural, sino también una demanda económica y de desarrollo.

El estudio de los edificios históricos y otras estructuras deben llevarse a cabo a partir de un enfoque basado en el uso de tecnologías modernas y la ciencia. El objetivo final debe ser el de seleccionar y gestionar adecuadamente los posibles medios técnicos necesarios para alcanzar la comprensión necesaria de la morfología y el comportamiento estructural de la construcción y para caracterizar sus necesidades de reparación.

Las exigencias actuales de una intervención son la reparación mínima y el respeto de la construcción original, así como los requisitos funcionales y estructurales. La restauración de las operaciones que cumplan con estos principios exige un enfoque científico y multidisciplinar que abarca la comprensión histórica, las técnicas de inspección no destructiva y experimental avanzada y los métodos informáticos de análisis.

La definición adoptada de refuerzo es "toda intervención en una estructura, mediante la cual se aumenta su capacidad resistente, y/o se mejora su estabilidad y robustez". Para que el refuerzo pueda considerarse efectivamente como tal, las partes agregadas deben incorporarse solidariamente a la estructura existente a fin de resistir en conjunto. Puede consistir en el reemplazo de materiales de baja calidad o defectuosos; en el agregado de materiales que constituyan nuevas áreas portantes; o en la redistribución de las acciones originadas por las

cargas actuantes, mediante deformaciones impuestas a la estructura. En el caso particular de las estructuras de hormigón, el refuerzo puede consistir en el agregado de nuevas secciones que pueden ser de:

- Hormigón armado
- Hormigón proyectado
- Perfiles metálicos
- Fibras poliméricas:
  - de carbono
  - de vidrio
  - aramidas

El refuerzo de estructuras de hormigón armado, consta de una serie de pasos que deben analizarse detenidamente, los cuales son:

- 1- Determinación de los niveles de cargas a los que estará sometida la estructura.
- 2- Determinación de la necesidad de reforzarla, y de ser así, cuales elementos serán reforzados.
- 3- Elección del sistema de refuerzo, en función de los condicionantes arquitectónicos y operacionales, además de la disponibilidad de los materiales, su costo y plazos de construcción.
- 4- Preparación del hormigón existente
- 5- Aplicación del método de refuerzo
- 6- Curado del material de refuerzo en caso de ser necesario.

Para la determinación de los niveles de cargas previstos para la refuncionalidad de la estructura se deberá hacer un análisis de cargas y un recálculo similar al que se realiza para una estructura nueva.

Para poder saber si es necesario el refuerzo de la misma, se deberá realizar un cateo de los elementos estructurales que conforman la estructura, para poder establecer con certeza las dimensiones de los elementos, cantidades y ubicación de las armaduras y calidad de los materiales utilizados.

Una vez conocidas las solicitaciones y las características de resistencia de la estructura se procederá a verificar cada elemento y constatar la necesidad de aplicar algún tipo de refuerzo.

En caso de que la resistencia de algún elemento de la estructura no posea la seguridad a rotura adecuada, se procederá a la elección del sistema de refuerzo más apropiado en función del tipo de solicitación en el cual presenta la deficiencia y de las posibilidades arquitectónicas.

Antes de aplicar el sistema de refuerzo elegido se deberá realizar la preparación de la superficie de hormigón, el cual deberá estar limpio, libre de polvos y aceites para poder transmitir adecuadamente las solicitaciones al material nuevo.

Dependiendo del material empleado, se deberá esperar un tiempo de fraguado adecuado, antes de aplicar las cargas previstas.

## 1-Refuerzos con hormigón armado

Es el refuerzo de hormigón más común. En este proceso se realiza un recrecido de la sección de hormigón, incorporando una nueva armadura.

Este tipo de refuerzo se debe realizar con hormigones de buena calidad ( $f_{ck} > 20$  Mpa).

Antes de realizar el refuerzo es necesario picar la superficie del hormigón original. Con este método se deja a la vista el árido del hormigón viejo, de modo que se mejora la adherencia entre ambos hormigones. También se puede añadir resina epoxi para mejorar esta adherencia.

El refuerzo puede realizarse con hormigón colado o con hormigón proyectado. El espesor de la capa de hormigón es determinado según la sección requerida para resistir el nuevo esfuerzo.

Tanto si el hormigón es proyectado como colado, el efecto zunchado provocado por la propia retracción de éste mejora la adherencia entre los dos materiales. Esta es la principal ventaja de este método.

Al entrar en carga el conjunto refuerzo-núcleo, el recrecido trabaja unido a éste por la adherencia que existe entre los dos hormigones.

Por otra parte, los refuerzos mediante recrecido con hormigón armado presentan un buen comportamiento frente al fuego, algo que no sucede en la mayor parte de los restantes sistemas de refuerzo.

Como inconvenientes fundamentales de esta técnica de refuerzo debe destacarse la necesidad de aumentar de modo considerable las dimensiones originales de la pieza y una elevada dificultad constructiva. En términos estructurales hay que indicar que el incremento de rigidez que este sistema conlleva, puede alterar la distribución de esfuerzos en el conjunto de la estructura.

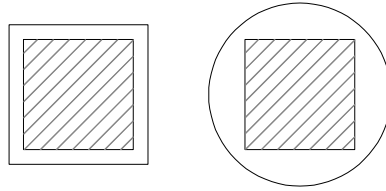
Es común en el recrecido de columnas con hormigón armado calcular éste de modo que sea capaz de resistir, por sí solo, la carga vertical, prescindiendo de la contribución del núcleo. En este sentido, estaríamos hablando de una sustitución funcional de la columna.

Aunque la capacidad resistente de la columna original existe, como se ha comprobado mediante ensayos en laboratorio, lo cierto es que la valoración de su aporte es muy difícil de determinar.

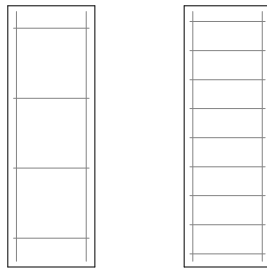
A continuación se indican algunos de los ensayos realizados en el Lemit, en los cuales se han reforzado columnas de hormigón armado mediante la incorporación de hormigón armado.

Se realizaron ensayos sobre columnas reforzadas, tomando como elementos básicos a reforzar piezas prismáticas de sección cuadrada.

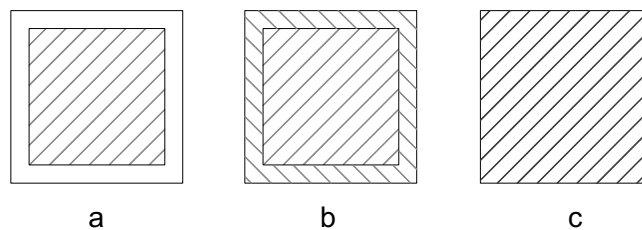
1) forma geométrica de la sección del refuerzo;



2) separación entre estribos manteniendo constante su diámetro (190% de incremento en la cuantía);



3) forma de distribuir la carga externa en los extremos de la pieza. a) columnas cargadas sólo en el núcleo existente, b) cargadas en toda la sección pero aplicando la carga directamente sobre el hormigón y c) cargadas en toda la sección encabezando previamente las caras extremas con mortero de cemento y yeso;



4) historia de la carga aplicada, es decir, su forma de evolución en el tiempo, se ensayaron columnas sometidas a una carga monotónica rápida (duración del ensayo de aproximadamente 5 minutos) luego de tenerlas 28 días en cámara húmeda y otras sometidas a un incremento monotónico rápido de carga, luego de permanecer seis (6) meses sometidos a una carga del orden de las de servicio (250 KN que se ajustaban periódicamente);

5) estado de carga de la columna original en el momento de realizar el refuerzo, se ensayaron tres (3) casos diferentes: a) columnas reforzadas después de seis (6) meses de hormigonadas; b) columnas reforzadas estando descargadas pero después de seis (6) meses bajo una carga sostenida de 250 KN; c) columnas reforzadas bajo carga luego de seis (6) meses bajo una carga sostenida de 250 KN; todas las piezas fueron luego sometidas a un ensayo rápido.

Los resultados se encuentran en la Tabla 1:

Tabla 1: Características de las columnas estudiadas

Columna	Seccion original	A° original	Seccion ref	A° refuerzo	Historia de Carga	Nivel de carga previo	Forma de carga	Encabezada	Carga rot teo. s/ref [KN]	A: Carga rot teorica ref [KN]	B: Carga de rotura exp [KN]	A/B	PROMEDIO
C <sub>1</sub>	15x15	Long. 4φ12 Estr. φ4.2c/14	Sin ref	x	x	x	Uniforme	Si	643	643	638	99%	96%
C <sub>2</sub>	15x15	Long. 4φ12 Estr. φ4.2c/14	Sin ref	x	x	x	Uniforme	Si	643	643	592	92%	
C <sub>3</sub>	15x15	Long. 4φ12 Estr. φ4.2c/14	Sin ref	x	x	x	Uniforme	Si	643	643	626	97%	
C <sub>4</sub>	15x15	Long. 4φ12 Estr. φ4.2c/14	Sin ref	x	x	x	Uniforme	Si	736	736	814	111%	111%
C <sub>5</sub>	15x15	Long. 4φ12 Estr. φ4.2c/14	Sin ref	x	x	x	Uniforme	Si	736	736	819	111%	
C <sub>6</sub>	15x15	Long. 4φ12 Estr. φ4.2c/14	Sin ref	x	x	x	Uniforme	Si	736	736	816	111%	
C <sub>7</sub>	15x15	Long. 4φ12 Estr. φ4.2c/14	19x19	Long. 4φ10 Estr. φ4.2c/14	x	250KN	Núcleo	No	617	1436	895	62%	104%
C <sub>8</sub>	15x15	Long. 4φ12 Estr. φ4.2c/14	19x19	Long. 4φ10 Estr. φ4.2c/14	x	250KN	Núcleo	No	617	436	812	186%	
C <sub>9</sub>	15x15	Long. 4φ12 Estr. φ4.2c/14	19x19	Long. 4φ10 Estr. φ4.2c/14	x	250KN	Núcleo	No	617	1436	916	64%	
C <sub>10</sub>	15x15	Long. 4φ12 Estr. φ4.2c/14	19x19	Long. 4φ10 Estr. φ4.2c/14	250KN- 6meses	x	Uniforme	No	680	1611	1450	90%	77%
C <sub>11</sub>	15x15	Long. 4φ12 Estr. φ4.2c/14	19x19	Long. 4φ10 Estr. φ4.2c/14	250KN- 6meses	x	Uniforme	No	680	1611	1500	93%	
C <sub>12</sub>	15x15	Long. 4φ12 Estr. φ4.2c/14	19x19	Long. 4φ10 Estr. φ4.2c/14	250KN- 6meses	x	Núcleo	No	680	1611	750	47%	
C <sub>16</sub>	15x15	Long. 4φ12 Estr. φ4.2c/14	φ25	Long. 4φ10 Estr. φ4.2c/5	x	x	Uniforme	No	750	1761	1060	60%	62%
C <sub>17</sub>	15x15	Long. 4φ12 Estr. φ4.2c/14	φ25	Long. 4φ10 Estr. φ4.2c/5	x	x	Uniforme	No	750	1761	1140	65%	
C <sub>18</sub>	15x15	Long. 4φ12 Estr. φ4.2c/14	φ25	Long. 4φ10 Estr. φ4.2c/5	x	x	Uniforme	Si	750	1761	1780	101%	100%
C <sub>19</sub>	15x15	Long. 4φ12 Estr. φ4.2c/14	φ25	Long. 4φ10 Estr. φ4.2c/5	x	x	Uniforme	Si	750	1761	1740	99%	
C <sub>20</sub>	15x15	Long. 4φ12 Estr. φ4.2c/14	φ25	Long. 4φ10 Estr. φ4.2c/5	x	x	Núcleo	No	750	1761	920	52%	51%
C <sub>21</sub>	15x15	Long. 4φ12 Estr. φ4.2c/14	φ25	Long. 4φ10 Estr. φ4.2c/5	x	x	Núcleo	No	750	1761	860	49%	
C <sub>22</sub>	15x15	Long. 4φ12 Estr. φ4.2c/14	23x23	Long. 4φ10 Estr. φ4.2c/5	x	x	Uniforme	No	750	2038	1220	60%	
C <sub>23</sub>	15x15	Long. 4φ12 Estr. φ4.2c/14	23x23	Long. 4φ10 Estr. φ4.2c/5	x	x	Uniforme	No	750	2038	1440	71%	65%

Los valores de la carga de rotura teórica sin y con refuerzo fueron obtenidos aplicando la fórmula aditiva de la resistencia a compresión:

$$N_u = 0,9 \cdot A_c \cdot f'_c + A_s \cdot f_y$$

Las principales conclusiones del análisis de los resultados son las siguientes:

1- La disminución de la separación entre estribos tiene un efecto favorable, aumentando la resistencia en el orden de 10%.

2- La forma de aplicación de la carga externa es la gran variable a tener en cuenta y, seguramente, la más difícil de controlar pues se trata de la transmisión de cargas entre una estructura existente, cargada, y una nueva, a la que se le debe pasar carga. En los casos en que la carga fue aplicada solamente al núcleo y transmitida al refuerzo por corte en la interfase, la eficiencia del refuerzo fue del orden del 50%, en cambio en los casos en que la carga fue aplicada uniformemente en toda la sección reforzada, la eficiencia fue del 100%.

3- Las columnas circulares rompen como zunchadas, tanto por su aspecto exterior inconfundible, con pérdida del recubrimiento, como por su deformación de rotura que supera en todos los casos el 0,4%.

4- Aún en las columnas con refuerzo cuadrado se tiene un incremento importante de deformabilidad: en éstas la deformación específica de rotura pasa de 0,2%, en la columna original, a 0,33% en la reforzada. Suponiendo que, en las condiciones en que se realizaron estos ensayos, la columna reforzada rompe para una carga del orden del 70% de la expresada por la fórmula aditiva, se tiene un factor de colaboración del zuncho de 0,34 (en lugar del valor 2 de las que tienen refuerzo circular).

5- Con la carga externa aplicada sobre toda la sección y estando los extremos encabezados, la resistencia de las columnas con refuerzo circular está en valores del orden del indicado por la fórmula aditiva para columnas zunchadas, con un factor dos (2) para la colaboración del zuncho.

6-Con carga sobre las secciones extremas completas, pero estando éstas sin encabezar, la resistencia experimental de las columnas con refuerzo circular está en el orden de 60% del valor que da la fórmula aditiva.

7-Si en una columna con refuerzo circular se carga solamente el núcleo original, el valor de la resistencia está en el orden del 50% del que indica la fórmula aditiva.

#### Recomendaciones para refuerzos con hormigón armado

1. El refuerzo de estructuras de hormigón armado con hormigón armado, es un procedimiento aconsejable y que, ejecutado tomando las debidas precauciones, da buenos resultados.
2. Es imprescindible poder garantizar la efectiva vinculación resistente entre el elemento a reforzar y su refuerzo (adherencia entre hormigones viejo y nuevo, anclajes de armaduras).
3. Debe calcularse la "real" resistencia de la pieza reforzada para cada valor de la carga actuante, tanto en servicio como en rotura, es decir, debe conocerse su resistencia "sincrónica".
4. Todo el proceso de refuerzo debe planificarse cuidadosamente y ejecutarse siguiendo estrictamente dicho plan.
5. Debe tratarse de que el baricentro de la sección homogeneizada del refuerzo, coincida con el de la sección original, también homogeneizada

## 2- Refuerzos con materiales compuestos

Los materiales compuestos son materiales formados por una fibra que aporta rigidez y resistencia y una matriz flexible y poco resistente que cumple dos funciones: envuelve y protege a las fibras y transmite los esfuerzos entre fibras y a su superficie. Las fibras empleadas pueden ser de carbono, vidrio, aramida, cerámica, metal, poliéster, etc. En cuanto a las matrices pueden ser orgánicas o inorgánicas. En el ámbito de la construcción, los materiales compuestos más

utilizados son a base de fibras de carbono (y en menor medida vidrio o aramida), con matrices orgánicas (generalmente resinas epoxi).

En la Figura 1, puede observarse el aspecto de cada una de ellas.

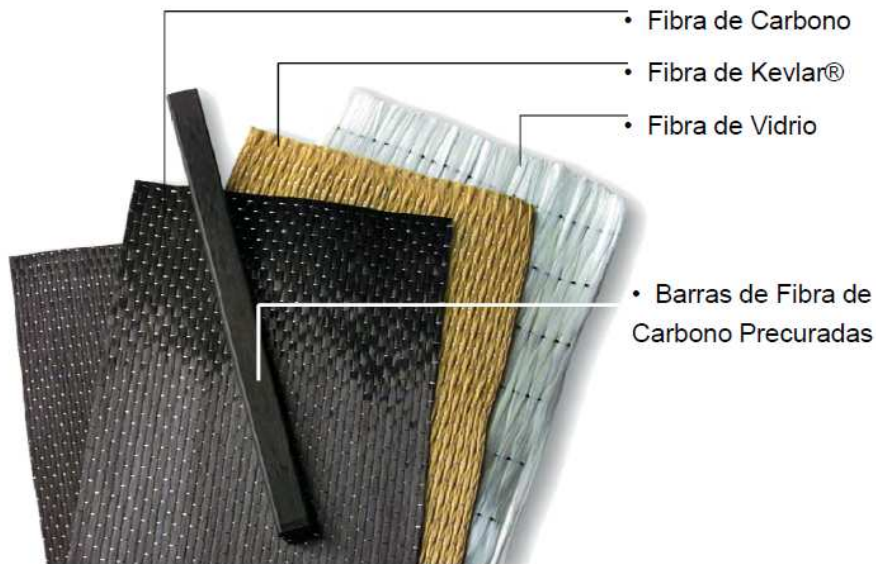


Figura 1: Tipos de fibras utilizadas como refuerzos.

El compuesto de fibras de carbono, puede utilizarse como laminación húmeda o a través de elementos precurados.

Las características mecánicas de las fibras utilizadas pueden observarse en el gráfico de la Figura 2.

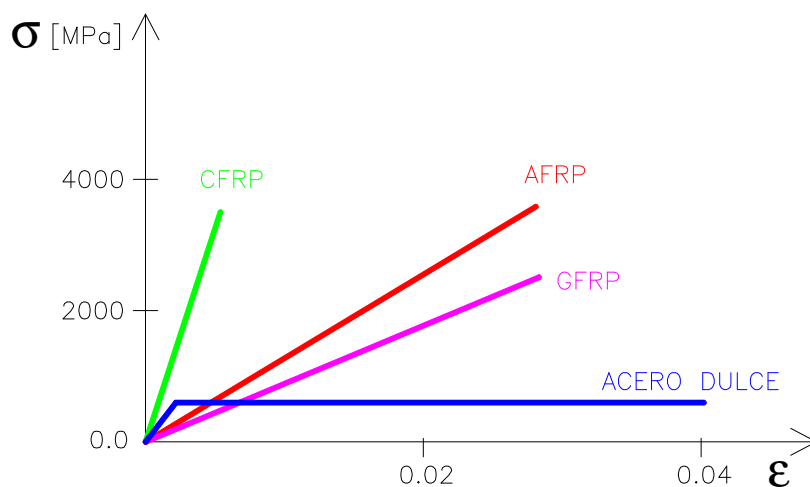


Figura 2: Resistencia a tracción de las fibras más comúnmente utilizadas en refuerzos.

Las propiedades de un material compuesto dependen obviamente de las características y proporción de sus materiales constitutivos, así como de otros muchos factores, como la posible orientación de las fibras. No obstante, las siguientes características son comunes a los materiales compuestos utilizados en el refuerzo de estructuras:

- Elevada resistencia, con comportamiento tensión-deformación lineal hasta la rotura (Figura 2).
- Buen comportamiento a fatiga.
- Excelente durabilidad, al no ser afectados por problemas de corrosión o ataque químico.
- Posibilidad de orientación de las fibras, optimizando así su comportamiento en una dirección.

Las primeras investigaciones sobre la posibilidad de aplicación como armadura de refuerzo de estructuras de hormigón las realizó Urs Meier en Suiza (EMPA) en 1985. Tras numerosos ensayos, en 1991 Meier llevó a cabo la primera aplicación práctica, consistente en el refuerzo del puente Ibach en Lucerna con polímeros reforzados con fibra de carbono (CFRP).

A partir de 1995, el refuerzo mediante bandas de fibra de carbono se generalizó, comercializándose diferentes sistemas de refuerzo por parte fundamentalmente de empresas alemanas y suizas. En 1996, se aplica por primer vez en España como refuerzo de una serie de vigas del puente Dragó en Barcelona. Desde entonces el refuerzo con bandas de fibra de carbono se ha extendido y popularizado.

Entre las razones que justifican la rápida implantación de estos sistemas de refuerzo hay que destacar las siguientes:

- Los materiales compuestos de fibra de carbono son livianos y fáciles de manejar. Por eso su colocación en obra es rápida y prácticamente no requiere la disposición de medios auxiliares. Esta circunstancia compensa en muchos casos la diferencia de costos con las bandas de acero (entre 6 y 10 veces más baratas en términos del material) que, sin embargo, son mucho más pesadas y precisan para su colocación mayor costos de mano de obra y medios auxiliares.
- Las bandas de fibra de carbono se adaptan mejor que las de acero a las posibles irregularidades de la superficie del hormigón original. Ello reduce en muchas ocasiones las labores previas de preparación del elemento a reforzar.
- Los materiales compuestos de fibra de carbono pueden presentarse prácticamente en cualquier longitud, lo que evita la realización de juntas o empalmes.
- Los materiales compuestos de fibra de carbono no se ven afectados por problemas de corrosión o de ataques químicos. Sólo una excesiva radiación o impactos directos pueden provocar su deterioro. Por ello, al contrario de lo que sucede con las bandas de acero, no es necesario protegerlas pintándolas periódicamente.
- Por otra parte, en caso de ser necesaria su protección frente a fuego, los requerimientos de los refuerzos mediante bandas de fibra de carbono encoladas no son muy superiores a los que exigen los refuerzos mediante bandas de acero igualmente encoladas.

Diversos organismos internacionales han creado grupos de trabajo que han establecido recomendaciones específicas para estos sistemas de refuerzo. Cabe señalar a este respecto la Fédération Internationale du Béton, F.I.B. , el American Concrete Institute, A.C.I y RILEM. Asimismo, países como Canadá o Italia han desarrollado ya las primeras normas al respecto.

En la Figura 3, se indican los resultados obtenidos en los ensayos a torsión de vigas de hormigón reforzadas con el sistema de fibras de carbono por laminación húmeda, realizados en el Lemit.

Se evaluaron diferentes configuraciones del refuerzo y se compararon con vigas de hormigón armado.

Del análisis de resultados se desprende que el refuerzo mediante fibras de carbono es una buena alternativa para el refuerzo de vigas sometidas a torsión ya que aporta ductilidad a la pieza, además de resistencia.

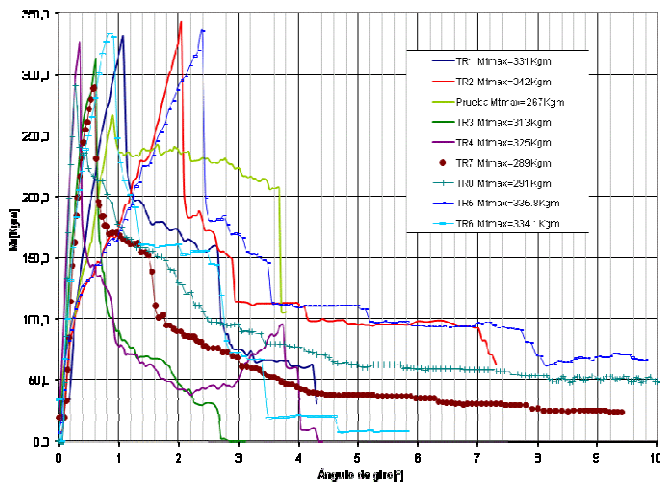


Figura 3: Ensayos a torsión de vigas de hormigón reforzadas con fibras de carbono.

En la Figura 4, se indica el proceso de colocación del compuesto de fibra de carbono mediante elementos precurados.

En este caso se trata de una viga de hormigón armado reforzada a flexión en la zona de momentos positivos.



Figura 4: Viga de hormigón armado reforzada con fibras de carbono precuradas

Mencionaremos ahora el caso de una estructura de hormigón armado la cual debió ser demolida parcialmente.

Esta pérdida de continuidad podría producir aumentos en las solicitaciones en los elementos estructurales involucrados. La documentación disponible de la estructura existente presentaba gran discordancia con lo materializado en el terreno, tanto en las dimensiones de los elementos de hormigón como en las armaduras, aún cuando el esquema estructural fuera muy similar.

El refuerzo de los elementos estructurales se calculó para absorber el incremento de solicitaciones producido por la modificación del esquema estructural como consecuencia de demolición de parte de la estructura existente. Se utilizaron planillas de cálculo y programas suministrados por los fabricantes de las fibras (Figura 5).

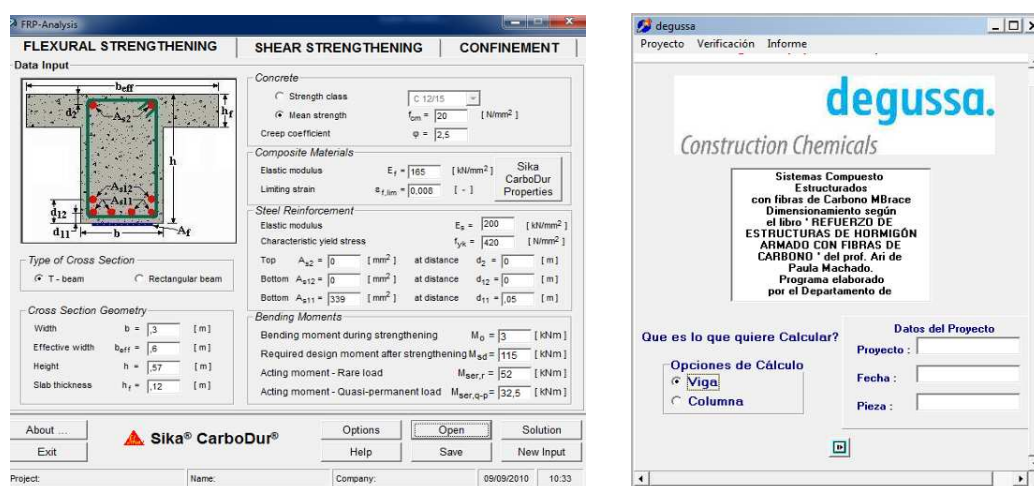


Figura 5: Programas de cálculo utilizados.

En la Figura 6 se muestra una losa perteneciente a la mencionada estructura, la cual debió ser reforzada mediante láminas de fibras de carbono.



**Figura 6: Esquema de refuerzo en losa con CFRP**

Así mismo debió realizarse el refuerzo de vigas debido a que la capacidad portante disponible no era suficiente para soportar las nuevas cargas de proyecto. En este caso se utilizaron láminas precuradas de 50mm de ancho y 1.2mm de espesor.

En la figura 7 pueden observarse dos vigas a las que se les adhirió el material de refuerzo, en 10 láminas para el caso a) 3 láminas para el caso b).



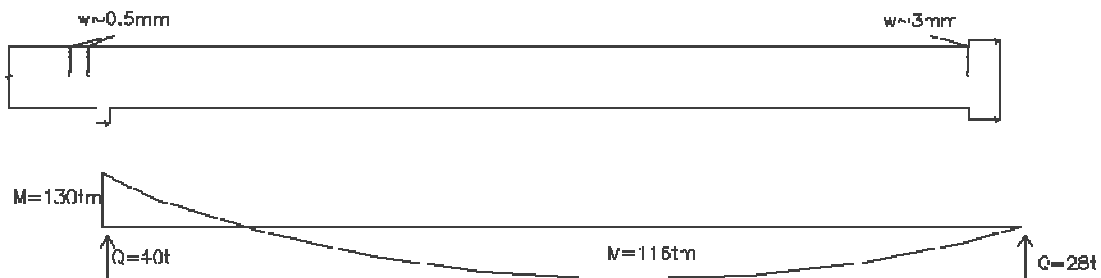
**a** **b**  
**Figura 7: Esquema de refuerzo en vigas con CFRP precuradas.**

### 3- Refuerzos con perfiles metálicos

Se trata de un sistema de refuerzo muy eficaz en términos estructurales que, al igual que el recrecido mediante hormigón armado, permite incrementar considerablemente la rigidez y resistencia del elemento original. Constructivamente, el refuerzo mediante perfiles metálicos presenta menos dificultades que el recrecido con hormigón.

Sin embargo, el diferente comportamiento del material original y el de refuerzo puede generar problemas de compatibilidad. Asimismo, la transferencia de esfuerzos al refuerzo está necesariamente más concentrada y puede plantear problemas que reduzcan la eficacia del sistema o compliquen gravemente su ejecución. De hecho, en general la transferencia tangencial de esfuerzos por adherencia y rozamiento es insuficiente para hacer entrar en carga este tipo de refuerzos, siendo normalmente necesario disponer anclajes de tipo mecánico o conectar directamente los nuevos perfiles metálicos a los nudos o a elementos estructurales inmediatos a través de piezas específicas.

A modo de ejemplo se realizará un análisis de una viga de hormigón armado perteneciente a una estructura en la cual se ha detectado la carencia de armadura de apoyos. Este hecho queda reflejado por el exceso de deformación de la misma y la presencia de fisuras en la zona de apoyos como puede observarse en la Figura 8, debido a la falta de continuidad con las vigas adyacentes.



**Figura 8: Fisuración observada en la viga al quitar el encofrado**

Realizado el recálculo minucioso de la viga y la consideración de posibles redistribuciones de esfuerzos, se plantearon dos tipos de refuerzos estructurales:

Refuerzo tipo a: mediante la aplicación de platinas prefabricadas de fibras de carbono.

Refuerzo tipo b: mediante el pegado de planchuelas de acero.

El diagrama de solicitaciones de la viga puede observarse en la Figura 9:

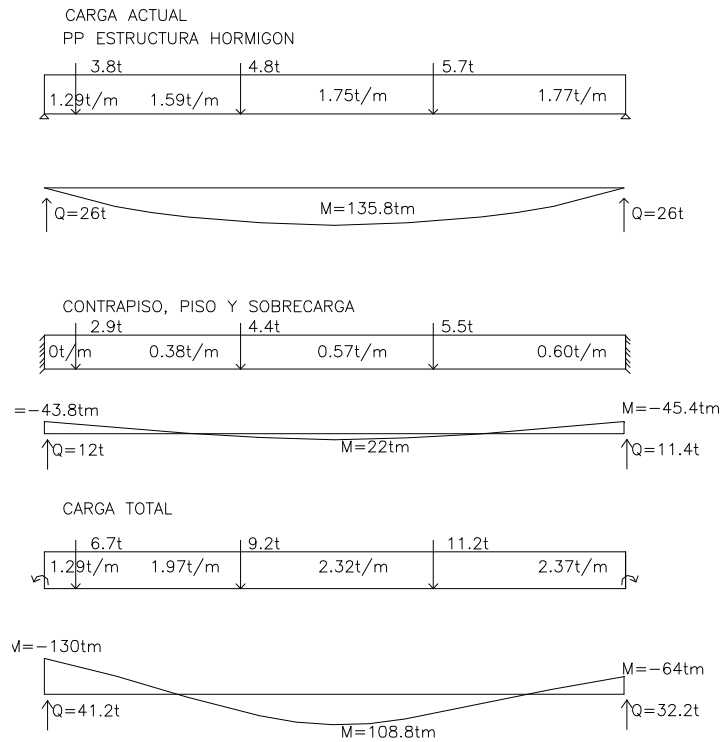


Figura 9: Solicitaciones en la viga para los estados considerados en el análisis

Se realizó el cálculo de las secciones necesarias de fibras de carbono y de acero, ofreciendo ambas alternativas técnicas y arquitectónicamente posibles en esta situación para proceder a realizar un análisis económico (Figuras 10 y 11).

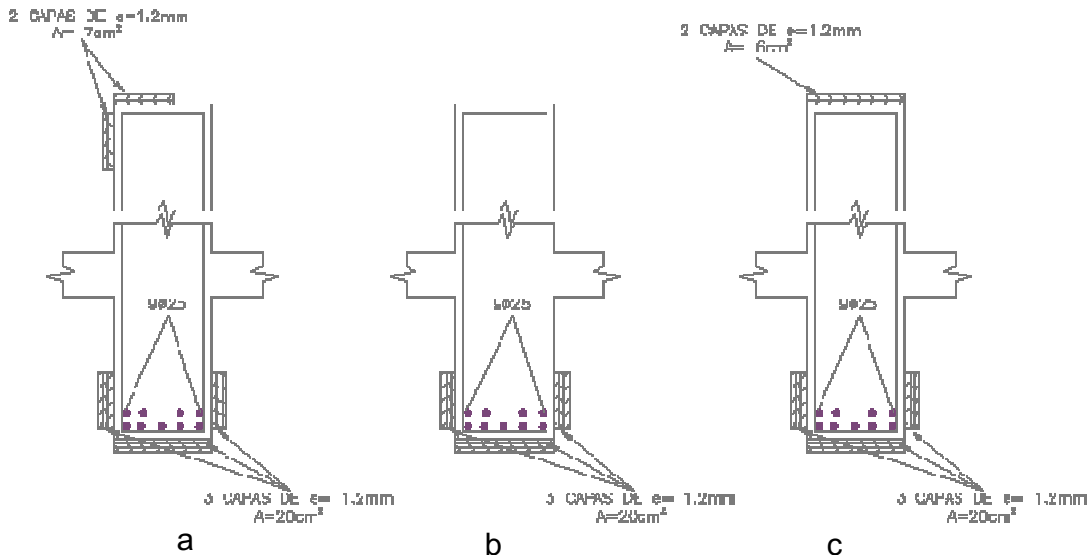


Figura 10: refuerzo de la viga con fibras de carbono: a) apoyo izquierdo. b) centro de la viga. c) apoyo derecho.

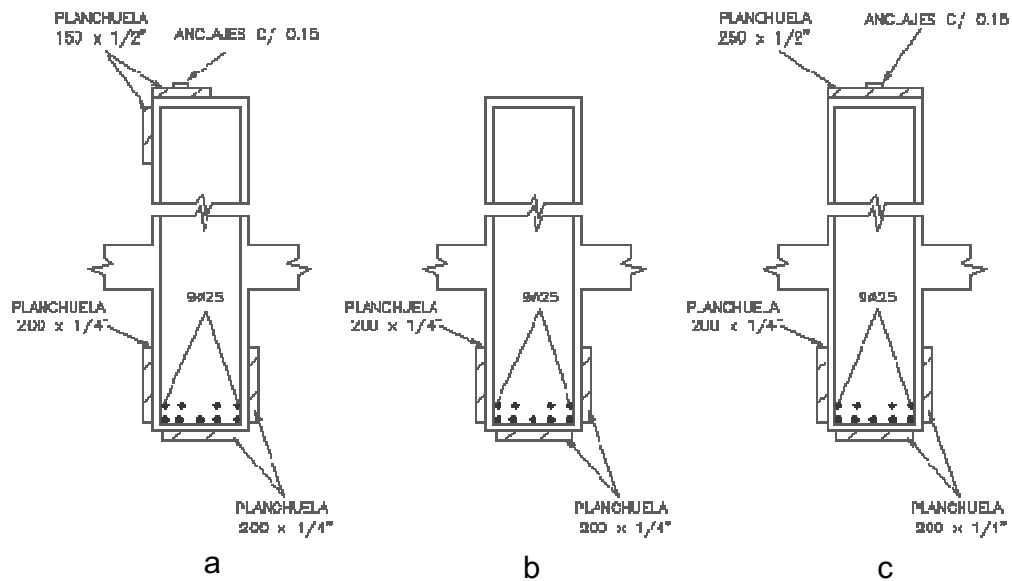


Figura 11: refuerzo de la viga con planchuelas de acero: a) apoyo izquierdo. b) centro de la viga. c) apoyo derecho.

En este caso, debido a que la viga presentaba una excesiva deformación, las armaduras inferiores (tramo), alcanzaron tensiones que superaban las admisibles, lo que obligó a reforzar tanto el apoyo como el tramo de la viga.

Si bien las fibras de carbono poseen una resistencia a tracción muy superior a la del acero, muchas veces resultan tensiones inalcanzables debido a la elevada deformación que esto requiere y que generalmente resultan inadmisibles en el hormigón armado.

El análisis económico llevó a la empresa contratista a elegir el sistema de refuerzos con planchuelas de acero, como puede observarse en la Figura 12.



Figura 12: Viga de hormigón armado reforzada con planchuelas metálicas

En la Figura 13 se muestran los pernos utilizados para la transmisión de esfuerzos entre el acero y el hormigón armado de la viga.



Figura 13: Detalle de los pernos de vinculación.

## CONCLUSIONES

Los tipos de refuerzos expuestos en el presente trabajo, presentan alternativas apropiadas para el refuerzo de estructuras de hormigón armado. No se puede decidir a priori cuál método es el más eficiente, sino que se deben evaluar en cada caso las características propias de cada proyecto, tanto estructurales, como arquitectónicas y económicas.

En todos los casos, el principal punto a tener en cuenta es la interfase entre el material original y el del refuerzo, la cual debe ser capaz de transmitir los esfuerzos adecuadamente. Esto se logra con un correcto tratamiento de la superficie de hormigón original y siguiendo los procedimientos otorgados por los fabricantes de los sistemas de refuerzo.

## REFERENCIAS

- [1] United States department of the interior, Bureau of reclamation. Technical service center. "GUIDE TO CONCRETE REPAIR". Denver, Colorado, 1996.
- [2] ACI 546R-04. "CONCRETE REPAIR GUIDE", 2004.
- [3] Guía de Soluciones. Reparación, Refuerzo y Protección de Estructuras de Hormigón. [www.sika.cl](http://www.sika.cl)
- [4] ACI 440.2R-08. "Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures", 2008.
- [5] FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON (F.I.B.), TG 9.3. Externally bonded FRP reinforcement for RC structures. Bulletin 14. 130 pp. Lausanne, 2001.
- [6] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (A.C.I.). A.C.I. Committee 440. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures. 45 pp. 2002.
- [7] C.E.B.-F.I.P. Código Modelo CEB-FIP 1990 para hormigón estructural. 1990.
- [8] FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON (F.I.B.). Management, maintenance and strengthening of concrete structures. Bulletin 17. 174 pp. Lausanne, 2002.
- [9] PATOLOGÍA, REPARACIÓN Y REFUERZO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO DE EDIFICACIÓN. Alfonso del RÍO BUENO. Universidad Politécnica de Madrid. 80 pp.