

REFUERZO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO

Bértora, M.A. - Lima, L.J.- Lima, M.

Lemit – Calle 52 s/n entre 121 y 122, La Plata – 0221 4831141/44 – direccion@lemit.gov.ar

RESUMEN

Todas las estructuras, entre ellas las de hormigón armado, tienen una determinada vida útil, la que es tenida en cuenta en el momento de proyectarla. Una estructura bien proyectada, construida, utilizada y mantenida debiera poder ser empleada, con adecuada seguridad, durante toda su "vida útil". No obstante las estructuras en general y las de hormigón armado en particular pueden requerir su refuerzo por diversas razones.

En especial, las estructuras que presentan un determinado valor patrimonial deben ser en algunos casos reforzadas por dos motivos bien diferenciados, por un lado aquellas construcciones que por alguna razón ven modificadas su destino original o su vida útil sin que esto implique que no han sido correctamente proyectadas, construidas, utilizadas o mantenidas, y por otro lado aquellas otras construcciones que presentan falencias en algunas de las etapas mencionadas de proyecto, construcción, uso y mantenimiento de manera de ver reducida su seguridad o su vida útil.

En el presente trabajo, cuyos resultados forman parte de un extenso plan de investigación sobre refuerzos de piezas de hormigón armado sometidas a esfuerzos de torsión, se analiza el material CFRP (Carbon fiber reinforced polymers) empleado como refuerzo en particular, y ante la carencia de normativa al respecto, se busca poder determinar la fuerza que puede absorber el plano de vínculo entre refuerzo y hormigón y su zona inmediatamente vecina, mediante la realización de ensayos simples, sencillos de realizar y que permitan interpretar fehacientemente lo que está ocurriendo.

Se presentan dos modalidades: un ensayo de tracción pura (como origen de la rotura del vínculo) y otro de tracción por flexión.

1-INTRODUCCIÓN

El refuerzo de estructuras de hormigón armado con materiales compuestos es una técnica que ha evolucionado mucho durante los últimos años. En este caso lo que se estudia es el refuerzo con fibras de carbono (CFRP).

Uno de los aspectos de diseño más importantes necesarios para cumplir con los requisitos de estados límites de servicio y rotura es la determinación de la longitud de anclaje necesaria para materializar una correcta transmisión de esfuerzos entre el hormigón de base y el material de refuerzo.

Para determinar la relación entre la fuerza de adherencia y el desplazamiento se han desarrollado numerosos estudios basados en las mismas metodologías que se utilizan para determinar la adherencia entre las barras de acero y el hormigón.

También se han desarrollado análisis teóricos utilizando el método de los elementos finitos (FEM), basándose en resultados de numerosos ensayos [1].

En el presente trabajo se realizaron dos tipos de ensayos destinados ambos a determinar cuantitativamente la capacidad de anclaje en el hormigón que posee el material de refuerzo, compuesto por fibra de carbono. Los ensayos estudiados corresponden a las dos metodologías siguientes:

- 1- Ensayo de tracción directa
- 2- Ensayo de tracción por flexión

La técnica utilizada en estos ensayos para la aplicación de las fibras es conocida como laminación húmeda, ya que las fibras flexibles se saturan en el momento de ser aplicadas con un material epoxi no curado y a medida que éste se endurece el material compuesto va adquiriendo rigidez y se vincula monolíticamente a la estructura de hormigón [2].

Los aspectos de diseño y cálculo de las secciones de refuerzo necesarias para cada sollicitación se encuentran contemplados por varios autores [3] [4].

2-METODOLOGÍAS APLICADAS

2.1. Ensayos de Tracción Directa

Se utilizaron prismas de hormigón simple, de sección transversal rectangular de 7.5cm de alto y 10.0cm de ancho.

El esquema de ensayo se indica en la Figura 1 y consiste en prever un conducto longitudinal en los prismas citados, los que se vinculan de a pares mediante dos elementos de refuerzo, los que deben ser absolutamente simétricos para evitar distorsiones en los resultados (Fotografías 1 y 2); por los orificios de los prismas se pasaron barras roscadas en uno de cuyos extremos existe un anillo destinado a la aplicación de las cargas (Fotografía 1), en el otro extremo se coloca la tuerca de anclaje, intercalando una chapa rectangular entre ella y el hormigón a fin de evitar concentraciones de tensiones que puedan distorsionar los resultados. Se debe mencionar que en este ensayo el hormigón en la zona de pegado al material compuesto, se encuentra comprimido.

Tanto las probetas utilizadas como el sistema de sujeción para aplicar la carga de tracción pueden observarse en detalle en la Fotografía 1.

El ancho de la fibra de carbono utilizada en todos los casos es de 2.5cm y su espesor de 0.165 mm.

Las longitudes de anclaje evaluadas en esta oportunidad son de 10cm, 15cm y 19cm, de aquí la denominación ET10, ET15 y ET19 de las probetas ensayadas.

Es de interés señalar que la metodología de ensayo utilizada no está normalizada, tanto las características de las probetas como la forma de aplicación de la carga constituyen un sistema desarrollado por los autores del presente trabajo.

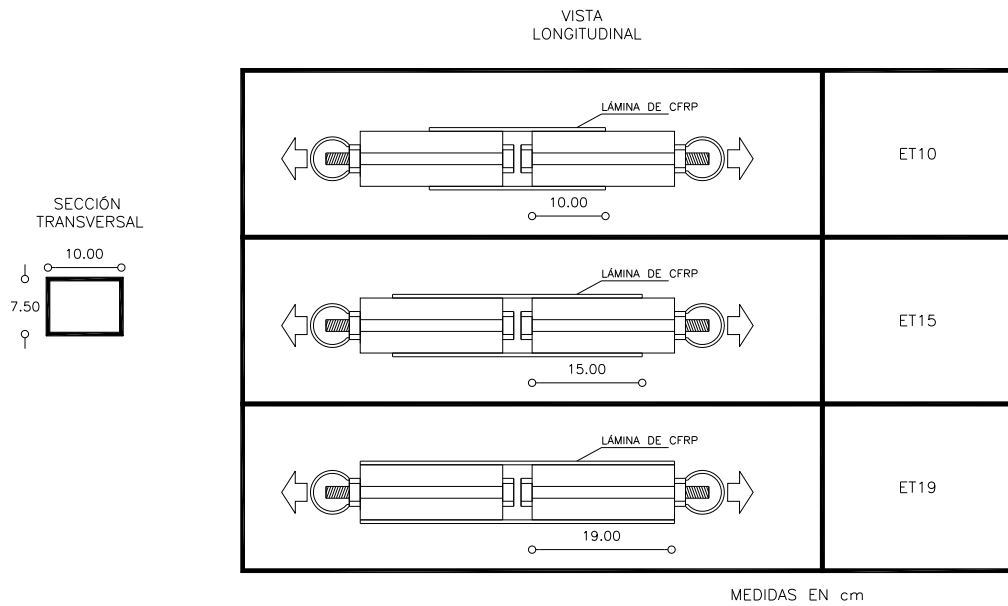


Figura 1. Esquema del ensayo a tracción directa



Fotografía 1. Probeta y dispositivo utilizados en el ensayo de tracción directa

Se utiliza una máquina de ensayo de tracción normal y las cargas de tracción pura se aplican en forma monótonica desde 0 a la rotura a través de los anillos ya citados.

La Fotografía N°2 ilustra una de las probetas en la máquina de ensayo.



Fotografía 2. Probeta montada en la máquina de ensayo

2.2. Ensayos de Tracción por Flexión

En este caso se emplearon prismas de hormigón simple, de sección rectangular de 7.5cm de alto y 6.5cm de ancho.

El ancho de la fibra de carbono utilizada en todos los casos es de 2.5cm y su espesor de 0.165 mm.

Las longitudes de anclaje evaluadas en esta oportunidad son de 10cm, 15cm y 19cm, de aquí la denominación EF10, EF15 y EF19.

En la Figura 2 se indica el esquema de carga para el ensayo de tracción por flexión utilizados en el presente trabajo.

En la Fotografía 3 se observa el aspecto de las probetas ya reforzadas con el material compuesto, antes de someterlas al ensayo de tracción por flexión.

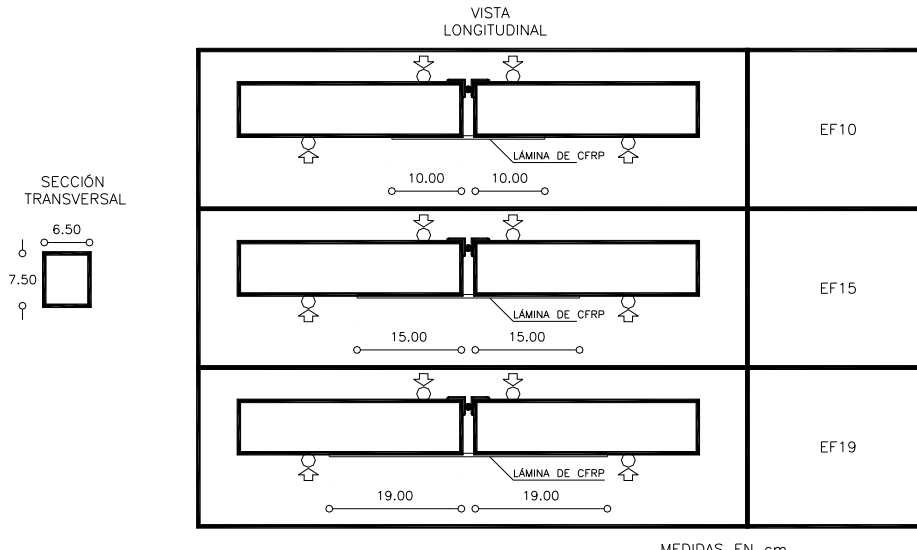


Figura 2. Esquema del ensayo a tracción por flexión



Fotografía 3. Probetas antes de ser ensayadas

La Fotografía 4 muestra la probeta en la máquina de ensayo, donde se puede observar un cilindro de acero en la unión de los dos bloques de hormigón, el que garantiza un brazo de palanca constante (7cm) en todos los ensayos y cumple la función de rótula permitiendo el giro de los bloques. También se colocaron dos perfiles de acero en ángulo entre el cilindro y el hormigón para evitar una concentración de tensiones en el apoyo del cilindro, que pueda ocasionar la rotura del hormigón.

La probeta se apoya sobre rodillos metálicos separados 43cm en las series EF 15 y EF19, y 35cm en la serie EF10. La separación de los rodillos de aplicación de la carga en todos los casos fue de 10cm.



Fotografía 4. Probeta montada en la máquina de ensayo

3-RESULTADOS

El hormigón utilizado para confeccionar las probetas presenta una resistencia media a compresión de 185 Kg/cm², determinada en probetas cilíndricas de 15cm de diámetro y 30cm de altura a la edad de 28 días.

3.1. Ensayos de Tracción Directa

En la Tabla 1 se indican los resultados obtenidos en los ensayos realizados a tracción directa. Los valores de las tensiones de adherencia están calculados a partir de las dimensiones de las fibras en la zona de vínculo en la que se produjo la rotura.

Tabla 1. Resultados de los ensayos de tracción directa

SERIE	PROBETA	A _{fibra} [cm ²]	P [Kg]	τ [Kg/cm ²]	τ _{prom} [Kg/cm ²]
ET10	T1	22.5	1100	24	27
	T2	23.0	1300	28	
	T3	25.5	1400	27	
ET15	T4	37.5	1660	22	22
	T5	35.0	1390	20	
	T6	37.0	1800	24	
ET19	T7	48.0	2000	21	20
	T8	48.3	2140	22	
	T9	48.0	1600	17	

A_{fibra}: indica la longitud de anclaje de la cara que cedió multiplicada por el ancho de la fibra.

P: es la carga de tracción máxima alcanzada.

τ: es la tensión media de adherencia, calculada dividiendo P/2 por A_{fibra}.

τ_{prom}: es el valor promedio de cada serie.

En estos ensayos se observó siempre un desprendimiento del material compuesto con hormigón adherido.

La Fotografía 5 ilustra la tipología de rotura que se repitió en todas las series.



Fotografía 5. Rotura típica de una probeta de la serie ET15

3.2. Ensayos de Tracción por Flexión

En la Tabla 2 se encuentran los resultados obtenidos en los ensayos de tracción por flexión.

Tabla 2. Resultados de los ensayos de tracción por flexión

	PROBETA	A_{fibra} [cm ²]	P [Kg]	M [Kgcm]	N [Kg]	τ [Kg/cm ²]	τ_{prom} [Kg/cm ²]
EF10	F1*	23.8	760	4750	679	29	27
	F2	23.8	600	3750	536	23	
	F3*	23.8	820	5125	732	31	
EF15	F4	36.3	710	5858	837	23	26
	F5	36.3	880	7260	1037	29	
	F6*	36.3	770	6353	908	25	
EF19	F7*	46.5	570	4703	672	14	17
	F8*	46.3	920	7590	1084	23	
	F9	45.0	520	4290	613	14	

P: es la carga máxima o de rotura aplicada a la probeta.

M: es el momento flector en la sección de estudio.

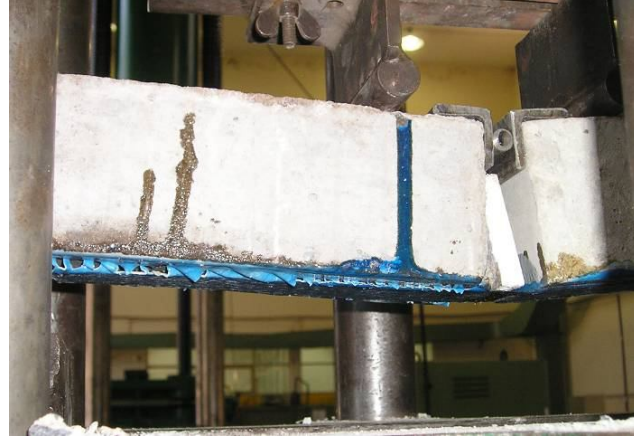
N: es la carga de tracción en la fibra, calculada como M/z , donde z es el brazo de palanca.

τ : es la tensión media de adherencia, calculada dividiendo N por A .

τ_{prom} : es el valor promedio de cada serie.

* Rompieron por el hormigón.

En esta serie de ensayos se observaron dos tipos de roturas totalmente distintos. La primera ocurrió al desprenderse el material compuesto con hormigón adherido a la superficie, como puede observarse en la Fotografía 6.



Fotografía 6. Rotura de una probeta de la serie EF19

La segunda tipología consiste en la rotura del hormigón (Fotografía 7), la cual no es aceptable pues no sirve al objetivo para el que se realiza el ensayo y por tal motivo se realizarán nuevas series modificando el mecanismo resistente del conjunto de forma que los prismas de hormigón no estén nunca sometidos a esfuerzos no deseados.



Fotografía 7. Rotura de una probeta de la serie EF19

4-CONCLUSIONES

El ensayo de tracción directa ofrece una alternativa conveniente para la obtención de la resistencia de adherencia entre el compuesto de fibras de carbono y el hormigón, tanto por la sencillez de su realización, como por la representatividad de los datos obtenidos.

Analizando los resultados con él obtenidos podemos decir que existe una longitud de adherencia óptima o suficiente, para las condiciones del ensayo. Esa longitud en los casos analizados es de aproximadamente 10cm, aunque habría que realizar más ensayos con longitudes de 5.0cm y 12.50cm.

En el gráfico de la Figura 3 se puede observar los valores obtenidos de tensión media de adherencia para las diferentes longitudes de anclaje.

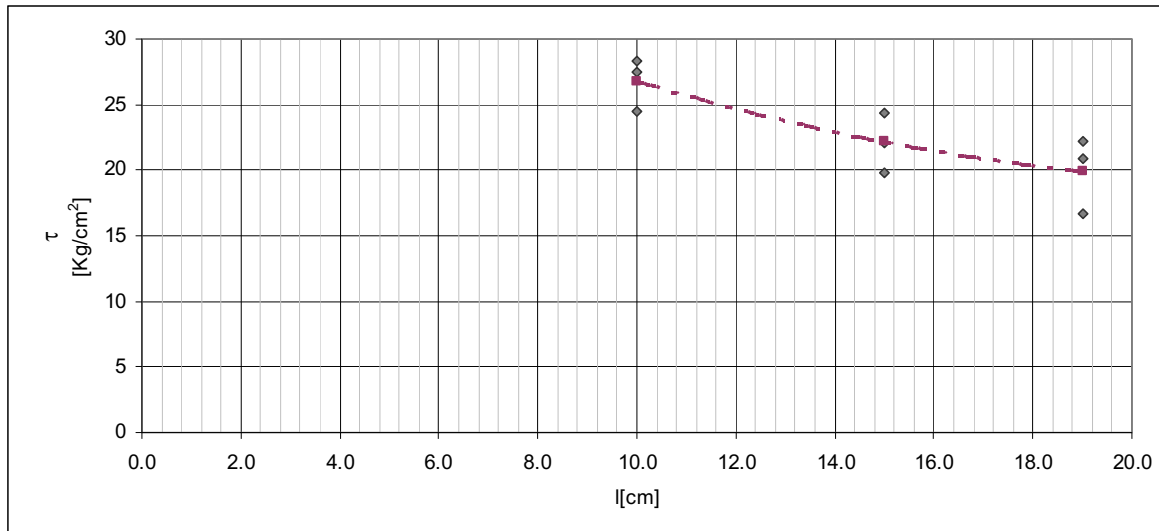


Figura 3. Resultados ensayos de tracción

En el caso del ensayo de tracción pura es conveniente ampliar el plan de investigación introduciendo nuevas variables, como ser el tratamiento de la superficie de hormigón previo a la colocación del compuesto polimérico y la calidad del hormigón.

Como se dijo anteriormente los ensayos de tracción por flexión deben optimizarse de manera de que no se produzca la rotura del hormigón al ser ensayada la probeta [6]. Aún así los resultados obtenidos son concordantes con el ensayo de tracción directa y con los encontrados en la bibliografía utilizando otras metodologías.

En el gráfico de la Figura 4 se puede observar la forma de la curva de la tensión media de adherencia en función de las diferentes longitudes de anclaje estudiadas en los ensayos de tracción por flexión. Este comportamiento es similar al encontrado en ensayos de adherencia entre hormigón y barras de acero lisas.

Es importante destacar que en el caso de los ensayos de tracción por flexión el hormigón en contacto con el material de refuerzo se encuentra traccionado y en el caso de los ensayos de tracción directa el hormigón está comprimido.

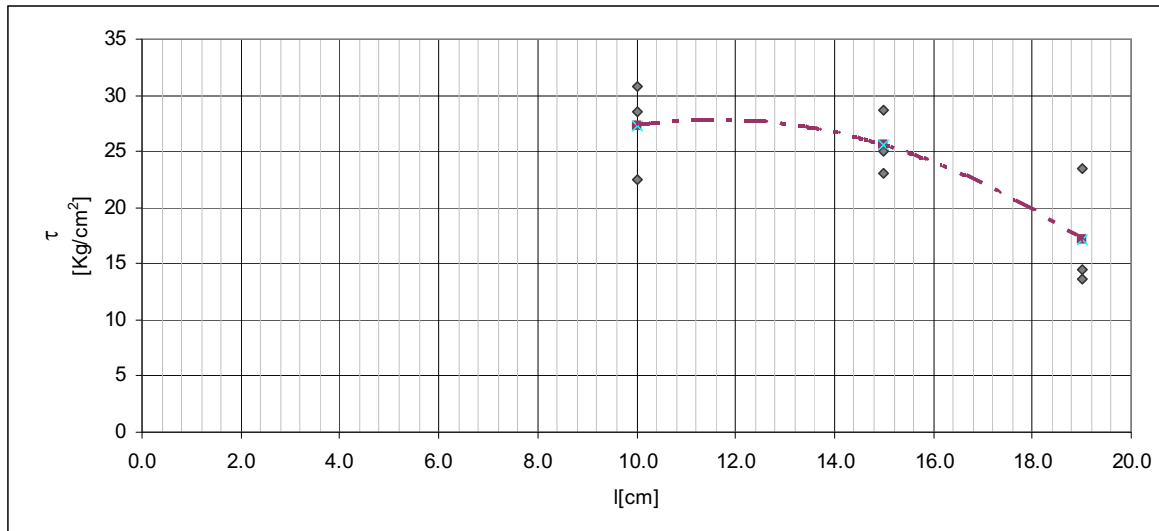


Figura 4. Resultados ensayos de tracción por flexión

5-REFERENCIAS

- [1]SENA-CRUZ J.M, BARROS J.A.O., AZEVEDO A.F.M.. "ANALYSIS OF THE BOND BETWEEN NEAR-SURFACE MOUNTED CFRP LAMINATE STRIPS AND CONCRETE". Proceedings 11th International conference on fracture, Turin (Italia), 20-25 de Marzo de 2005.
- [2] MBT."SISTEMA DE REFUERZO DE ADHESIÓN EXTERNA DE FRP". www.ingelab.cl
- [3] LU X.Z, JIANG J.J., TENG J.G., YE. L.P. "FINITE ELEMENT SIMULATION OF DEBONDING IN FRP-TO-CONCRETE BONDED JOINTS". Construction and building materials, N° 20, pp 412–424.
- [4] ACI: GUIDE FOR THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF EXTERNALLY BONDED FRP SYSTEMS FOR STRENGTHENING CONCRETE STRUCTURES, ACI 440.2R-02, American Concrete Institute, 2002.
- [5] FIB, EXTERNALLY BONDED FRP REINFORCEMENT FOR RC STRUCTURES, fib Bulletin No. 14, 2001.
- [6] Alarcón López A." ESTUDIO TEÓRICO-EXPERIMENTAL SOBRE LA REPARACIÓN Y REFUERZO DE PUENTES DE DOVELAS CON FIBRA DE CARBONO", UPC, Octubre 2002.