

# Refuerzo de elementos estructurales mediante bandas de acero adheridas con resinas epóxicas

**GUSTAVO CIFUENTES CIFUENTES**

**Profesor Interino del departamento de Ingeniería Civil,  
Sección de estructuras.**

**RESUMEN** El presente artículo muestra los resultados experimentales y las conclusiones de una investigación llevada a cabo en la Universidad Nacional de Colombia, acerca del comportamiento de vigas de concreto reforzado, con refuerzo adicional consistente en laminas de acero adheridas, mediante resinas epoxicas. Los resultados experimentales, demuestran el buen comportamiento que tiene este tipo de refuerzo siempre y cuando se disponga de un sistema adicional de anclaje de las laminas de acero. Aunque no se disponga de anclaje adicional se comprobó un aumento de rigidez en las vigas estudiadas.

**ABSTRACT** *This paper presents the results of test carried out on reinforced concrete beams strengthened by epoxy-bonded steel plates in the Universidad Nacional de Colombia. The test shown the very good behavior of reinforced beams whit additional bonded plates when they have additional anchor plates that can overcome the problem of anchorage failure. When the reinforced beam does not have additional anchor plates, the beam present greater values of stiffness, but they have a non-ductile behavior.*

## INTRODUCCIÓN

Se presenta en este trabajo un método poco conocido en nuestro medio, para el refuerzo de secciones de concreto reforzado, sujetas a flexión o a cortante, que deban por algún motivo resistir cargas superiores a las de diseño. El método fue utilizado inicialmente en Surafrica (1964), y posteriormente en algunos países Europeos, en donde se ha llevado a cabo la mayor parte de las investigaciones acerca de su comportamiento. En nuestro país no existen antecedentes acerca de este tipo especial de refuerzos, y por lo general se utilizan otros métodos, que en general son mas costosos.

La experiencia Europea ha demostrado que el sistema funciona pero tiene algunos problemas, y no existe una metodología clara de diseño para el

refuerzo adicional a colocar, teniendo en cuenta que el elemento estructural que se va a reforzar puede estar sometido a algún tipo de esfuerzos internos, en el momento de colocar el refuerzo.

Debido a lo anterior en la Universidad Nacional de Colombia en Bogotá, se inicio una investigación acerca de este tipo de refuerzo, con el objeto de adaptarlo a nuestro medio. La investigación fue dirigida por el ingeniero Gabriel Gómez Cortes y en ella participo el autor del presente trabajo.

## MATERIALES

En el tipo de refuerzo adicional planteado intervienen tres materiales principales: El primero es el acero, que aparece de dos formas, como acero

redondo de refuerzo interno dentro de la viga y las bandas de acero que se colocaran externamente, que son en general acero tipo «Hot-Rolled».

El segundo material es el concreto, acerca del cual se estudio su diagrama esfuerzo deformación, y en particular, la conveniencia de utilizar un modelo esfuerzo vs deformación parabólico, para su rama ascendente, con el objeto de estudiar los esfuerzos internos en las secciones de concreto reforzado, sujetas a un momento inicial menor que el momento último de las vigas (Momento que suponemos existe cuando se coloca el nuevo refuerzo).

El tercer material es la resina epoxica, que una vez mezclada con el endurecedor, y los modificadores de la formulación epoxica, endurecerá, y proveerá el mecanismo de adherencia necesario para mantener unidos al acero adicional y al concreto.

### PROPUESTA DE DISEÑO

Una vez establecidos los materiales, el comportamiento que se espera de cada uno de ellos y un sistema de cargas externas, se estudio la propuesta de diseño para estos elementos, basándose en la teoría del concreto reforzado, y en el boletín No 162 del CEB. Debido a la forma en que se trabaja en nuestro medio, y a la presencia de algunos

inconvenientes en el método presentado por los europeos, que no permiten resolver problemas generales del refuerzo adicional, se presenta una propuesta de diseño del refuerzo para flexión de acuerdo a nuestro código de diseño, que incluye el análisis de vigas T con refuerzo interno en tensión y en compresión que pueden tener valores diferentes de  $f_y$ , y así mismo refuerzo en forma de bandas de acero, con valores de  $f_y$  diferentes a los anteriormente indicados. Adicionalmente el modelo de diseño presentado, permite el uso de diagramas esfuerzo vs deformación que tengan cualquier forma para el análisis de esfuerzos iniciales en la sección antes de la unión de la banda de acero, y el modelo desarrollado supone que para condiciones últimas de carga es valido el modelo de Whitney.

Debido a que el modelo es muy general, las ecuaciones resultantes son difíciles de manejar, ya que incluyen en algunos casos integraciones numéricas. Por lo que se elaboro un programa escrito en lenguaje «C» que permite el diseño automático de las secciones.

El programa se calibro contra modelos experimentales en que se midió la rama ascendente del diagrama esfuerzo vs deformación del concreto en ensayos rápidos sobre cilindros de dicho material, en comparación de diagramas de tipo parabólico

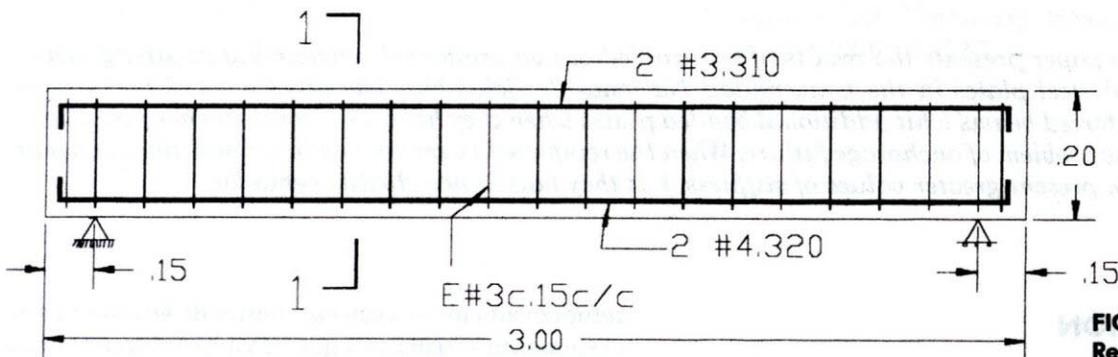


FIGURA 1. Refuerzo de viga para flexión.

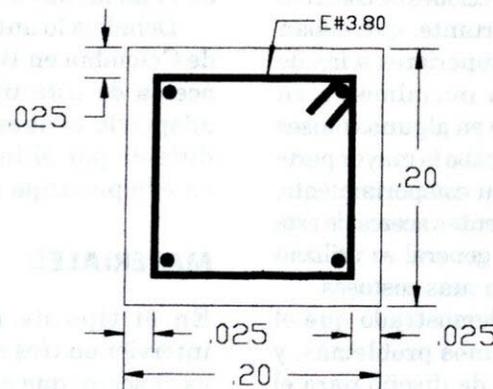
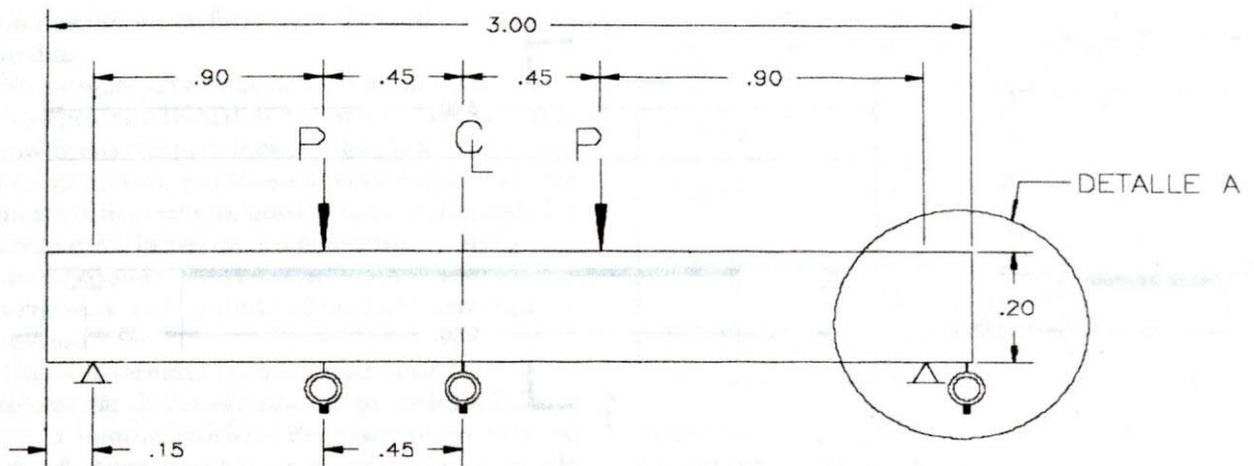


FIGURA 2. Sección de al viga en flexión.



**FIGURA 3.**  
Ubicación de cargas e instrumentos de medición en las vigas.

supuestos para el concreto, se obtuvieron buenos resultados para el modelo, que se reflejaron en diagramas de Momento vs Curvatura muy similares para el modelo parabólico y el experimental.

### TRABAJO DE LABORATORIO.

Con el fin de contrastar la teoría, en el laboratorio de ensayo de materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia, sede de Bogotá, se llevaron a cabo una serie de ensayos sobre vigas de concreto reforzadas mediante bandas de acero adheridas por medio de resinas epoxicas.

Los ensayos se hicieron sobre vigas, de 3.00 x 20 x .20 m., se fabricaron adicionalmente vigas testigos que se usaron para comparar los resultados. En la figura 1 y 2 se observa la viga testigo utilizada.

Las condiciones de apoyo, de carga y la ubicación de los deformímetros para medición de deflexiones se indican en la figura 3.

El giro en el apoyo se obtiene como:

$$\theta = \frac{\Delta l}{l_d}$$

en donde  $l_d$  se define como la distancia al apoyo del deformímetro.

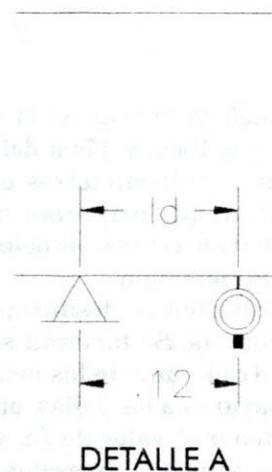
La ubicación de las láminas de acero de refuerzo en flexión se indican en la figura 5.

Se ensayaron vigas reforzadas a flexión con láminas en forma de U para evitar problemas de anclaje en los extremos de la lámina. Las

dimensiones de estos elementos se observan en la figura 6.

Antes de la aplicación del refuerzo se realizó un tratamiento superficial con grata metálica al concreto y a la lámina de acero de refuerzo, posteriormente se retiró el polvo de la superficie por medio de un chorro de aire aplicado con un compresor.

En todas las vigas se utilizó acero «Hot rolled» calibre 12 (2.63mm de espesor). Se varió el ancho de la lámina longitudinal, trabajando primero con 100mm y posteriormente con 150mm de ancho. Las pruebas efectuadas sobre 6 probetas tomadas de las láminas de acero indican que este tiene un módulo de fluencia de  $f_y = 2300 \text{ kg/cm}^2$ .



**FIGURA 4.**  
Detalle del apoyo y ubicación del deformímetro para medición de giro.

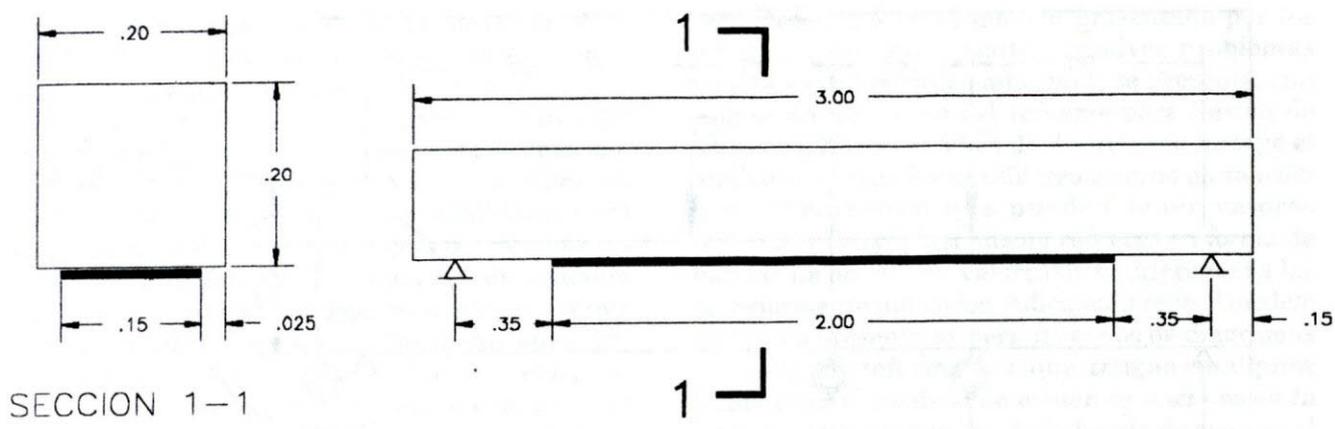


FIGURA 5. Ubicación de la lámina de acero para flexión.

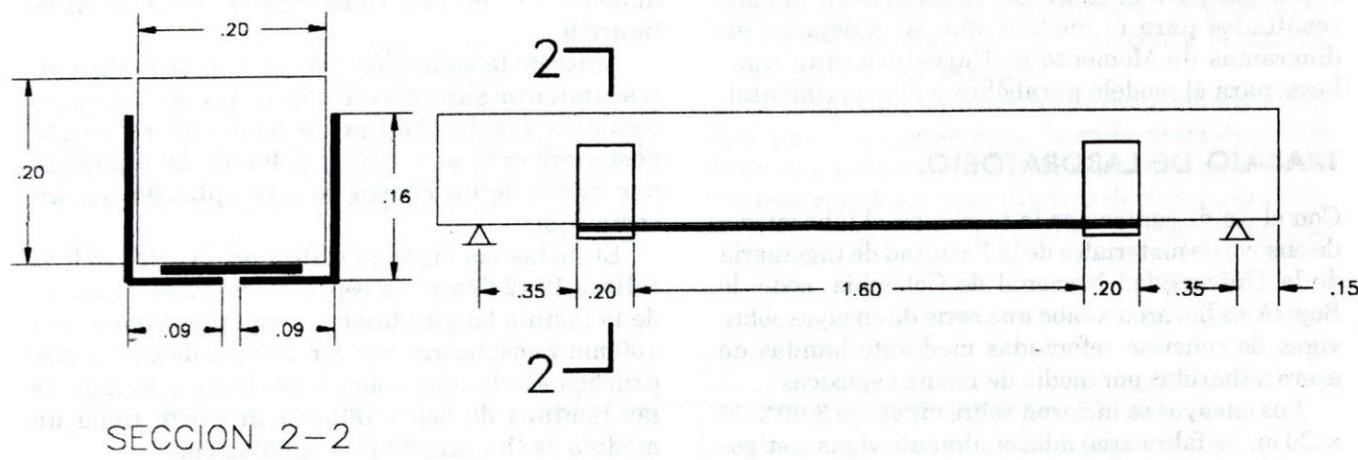


FIGURA 6. Ubicación de láminas laterales.

Se midieron deformaciones en el centro de la lámina de acero y a 10cm y 17cm del borde de la lámina, utilizando deformímetros eléctricos de 1.00cm de longitud, que permitían utilizando el puente de Wheatstone lecturas de deformación con precisión de  $1 \times 10^{-6}$  mm/mm.

El concreto utilizado se dosificó para obtener diferentes resistencias. Se tomaran seis cilindros de 15 X 30 cm de cada una de las mezclas, dos de los cuales se ensayaron a los 7 días, otros dos a los 28 días para obtener el valor de  $f_c$ , y además de estos cilindros se obtuvo el diagrama de esfuerzo vs deformación del concreto. Los otros dos cilindros se ensayaron el día de ensayo de las vigas.

En todas las vigas se usó cemento portland tipo I producido por Cementos Boyaca S.A., el tamaño

máximo del agregado grueso utilizado es 3/4 de pulgada.

Se utilizó formaleta fabricada en madera de cedro, y el vibrado se realizó por medio de un vibrador de aguja.

El curado consistió en rociado de agua una vez al día durante los primeros 28 días. Las vigas

TABLA 1. Convención utilizada.

MEZCLA	$f_c$
CC-1	158 kg/cm <sup>2</sup>
CC-2	220 kg/cm <sup>2</sup>
CC-3	231 kg/cm <sup>2</sup>
CC-4	262 kg/cm <sup>2</sup>

permanecían en la formaleta de madera durante siete días.

Se escogió para adherir la lámina de acero, la resina epóxica SIKADUR 31 normal, la cual es una resina de dos componentes con dosificación 2:1, esta resina tiene incorporados en sus componentes un llenante (filler) silíceo, que le confiere propiedades tixotrópicas a la resina, y así permite su aplicación en condiciones de trabajo «sobrecabeza» sin escurrirse, y por lo tanto ideal para este tipo de aplicación.

Una vez terminada la aplicación de la resina y la colocación de las láminas se procedía a colocar sobre la lámina ladrillos de concreto en toda su longitud, para garantizar el contacto adecuado lámina - resina - concreto, y se verificaba que la resina rebosara por los lados de la lámina.

Debido a que en el momento de la colocación de la lámina de acero la viga tenía la cara inferior colocada hacia arriba (es decir la viga permanecía girada 180°) y así mismo estaba continuamente soportada en su longitud, se supuso que no existían deformaciones iniciales de la sección en el momento de colocar la lámina.

## RESULTADOS OBTENIDOS

En las tablas y gráficas se usa la convención indicada en la tabla 2 para los diferentes tipos de vigas:

La gráfica 1 muestra los resultados obtenidos de momentos últimos y de fisuración. Las gráficas

**TABLA 2. Convención utilizada.**

CONVENCION	DESCRIPCION
C-n	Viga testigo concreto tipo n
C-n-10	Viga con lámina 10cm concreto tipo n
C-n-15	Viga con lámina 15cm concreto tipo n
C-n-U-10	Viga con lámina 10cm concreto tipo n y láminas laterales.
C-n-U-15	Viga con lámina 15cm concreto tipo n y láminas laterales.

permiten comparar los resultados ya sea experimentales o estos últimos con los teóricos. Los resultados teóricos fueron encontrados utilizando el programa «Refuerzo» el cual se desarrollo especialmente para esta investigación.

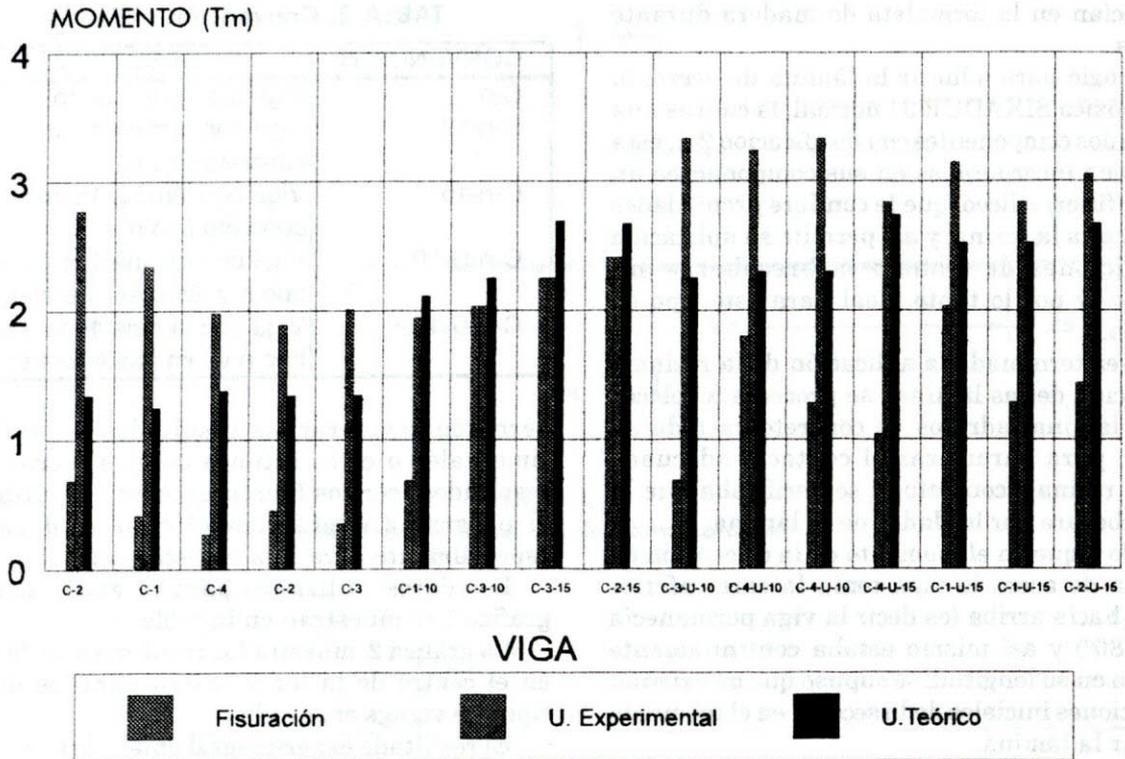
Los datos utilizados para la elaboración del gráfico 1 se muestran en la tabla 3.

La gráfica 2 muestra los resultados de deflexión en el centro de la luz vs carga para los diversos tipos de vigas ensayadas.

El resultado experimental obtenido para la viga C-2 que inicia la serie en la gráfica 1 es demasiado alto, posiblemente se debe a un error cometido en la colocación de la armadura que aumentó el valor de la profundidad efectiva «d» de la viga o en un error en la escala de lectura utilizada para dicha viga (compárese con el otro resultado obtenido para C-2) y que aparece también tabulado.

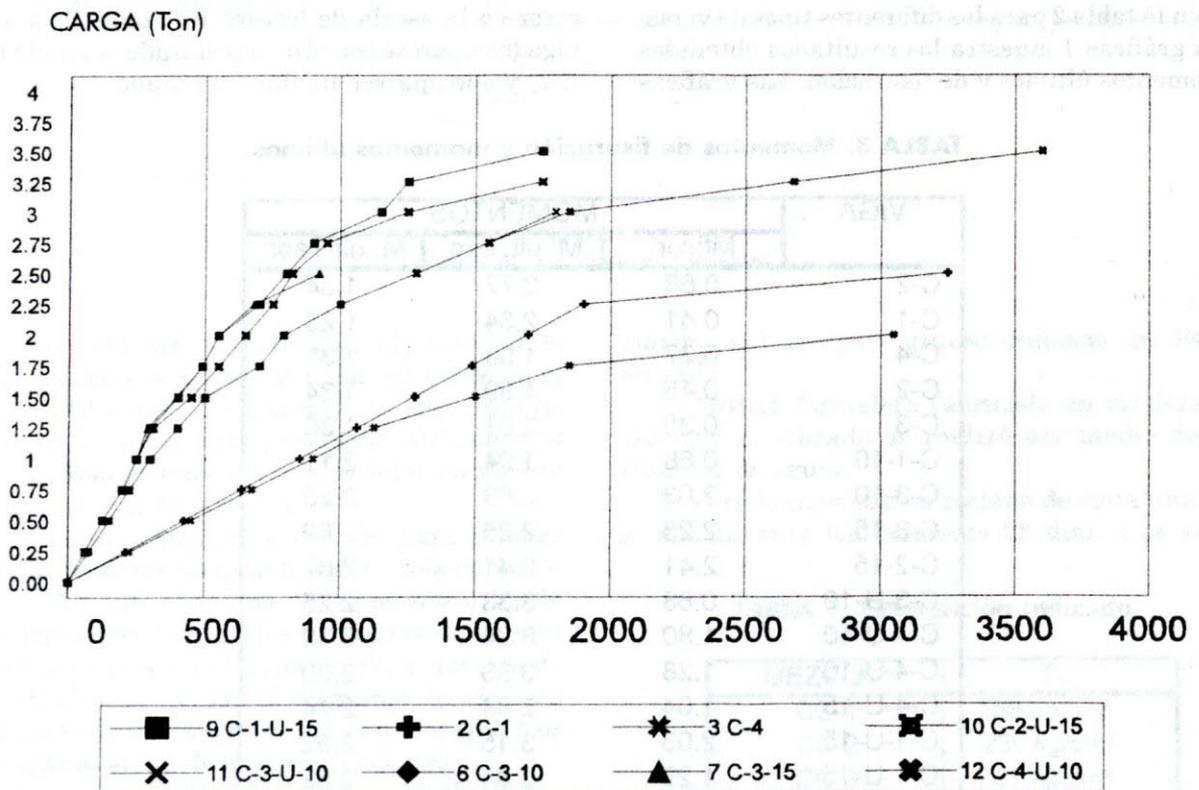
**TABLA 3. Momentos de fisuración y momentos últimos.**

VIGA	MOMENTOS		
	Mfisur.	M. ult. exp.	M. ult. Teor.
C-2	0.68	2.77	1.34
C-1	0.41	2.34	1.25
C-4	0.27	1.98	1.38
C-2	0.45	1.89	1.34
C-3	0.35	2.01	1.35
C-1-10	0.68	1.94	2.11
C-3-10	2.03	2.03	2.25
C-3-15	2.25	2.25	2.69
C-2-15	2.41	2.41	2.67
C-3-U-10	0.68	3.33	2.25
C-4-U-10	1.80	3.24	2.30
C-4-U-10	1.28	3.33	2.30
C-4-U-15	1.04	2.84	2.74
C-1-U-15	2.03	3.15	2.52
C-1-U-15	1.29	2.84	2.52
C-2-U-15	1.44	3.06	2.67



Momentos últimos teóricos incluyen factores de reducción de resistencia

**GRÁFICA 1. Momentos últimos.**



**GRÁFICA 2. Deflexión Central. Vigas reforzadas a flexión.**

**TABLA 4. Relación entre momentos experimentales y teóricos.**

VIGA	MOMENTOS		
	Mult.exp.	M.ult. teor.	Exp./Teor.
C-2	2.77	1.34	2.07
C-1	2.34	1.25	1.87
C-4	1.98	1.38	1.43
C-2	1.89	1.34	1.41
C-3	2.01	1.35	1.49
C-1-10	1.94	2.11	0.92
C-3-10	2.03	2.25	0.90
C-3-15	2.25	2.69	0.84
C-2-15	2.41	2.67	0.90
C-3-U-10	3.33	2.25	1.48
C-4-U-10	3.24	2.30	1.41
C-4-U-10	3.33	2.30	1.45
C-4-U-15	2.84	2.74	1.04
C-1-U-15	3.15	2.52	1.25
C-1-U-15	2.84	2.52	1.13
C-2-U-15	3.06	2.67	1.15

Con base en las gráficas de resultados de giro vs carga y deflexión vs carga y definiendo la rigidez al giro como:

$$K_g = \frac{F}{\theta}$$

Definiendo la rigidez a la deflexión como:

$$K_d = \frac{F}{\Delta}$$

**TABLA 5. Rigidez al giro y a la deflexión de las vigas.**

VIGA	RIGIDEZ AL GIRO	RIGIDEZ A LA DEFLEXION
	Kg (Kg/rad)	Kd (Kg/mm)
C-2	96900	11.5
C-1	106000	11.3
C-4	71900	11.0
C-2	92000	11.0
C-3	90500	11.1
C-1-10	225700	239.2
C-3-10	238600	239.2
C-3-15	240200	232.9
C-2-15	255200	232.4
C-4-U-15	267900	315.0
C-1-U-15	266700	273.0
C-1-U-15	231200	289.0
C-2-U-15	306100	315.0
C-3-U-10	380200	162.0
C-4-U-10	271000	162.0
C-4-U-10	272000	162.0

Dichos valores de rigidez se pueden obtener como las pendientes de las curvas de giro vs carga y deflexión vs carga para las vigas (Tomando para dichas medidas la parte aproximadamente recta de las curvas) y se encuentran en la siguiente tabla.

Se observa que las rigideces al giro  $K_g$  son del orden de tres veces el valor de  $K_g$  original con el solo hecho de adherir la lámina, y se tiene más de cuatro veces la rigidez original al colocar las láminas laterales.

Con respecto a la rigidez a la deflexión  $K_d$  se observan aumentos de más de 20 veces el valor original de rigidez y en el caso de las vigas con láminas de 150mm de ancho el valor llega a ser más de 30 veces el valor original. Se observa también que la rigidez obtenida en la viga con lámina sin dispositivos de anclaje es mayor que la obtenida en la lámina con dispositivos de anclaje (en la lámina de 100mm).

La carga de fisuración es igual a la carga de falla en las vigas sin refuerzo lateral, esto es, la viga falla sin que se alcance a presentar ningún tipo de agrietamiento antes de la falla. Este tipo de falla es repentino y por lo tanto muy peligroso.

Se hace notar el hecho de que aunque se uso concreto de diferentes resistencias, este parámetro no tuvo prácticamente ninguna influencia sobre la forma de falla de las vigas.

## FORMA DE FALLA TÍPICA EN LAS VIGAS

### ENSAYADAS:

**Vigas sin láminas (C-n):** Ocurre fluencia del acero de refuerzo, con un aumento simultáneo en cantidad y tamaño de las grietas por flexión (grietas verticales en este caso), las grietas aumentan en longitud extendiéndose hacia la zona de compresión y posteriormente se degrada el concreto en compresión.

**Vigas con lámina de 100mm de ancho (C-n-10):** Ocurre una falla súbita para valores de momento o carga similares a los alcanzados en las vigas testigo. Antes de la falla, se forman a veces algunas grietas de flexión que no progresan. La falla ocurre por desprendimiento de la lámina de acero del concreto después del agrietamiento repentino del concreto de recubrimiento, hasta la lámina. Al observar la lámina de acero después del ensayo se aprecia que en la superficie de esta quedan adheridos pedazos del concreto y del agregado grueso, es decir la falla no ocurre por falta

de adherencia de la resina epoxica, sino más bien por esfuerzos de arrancamiento dentro del concreto al que esta adherida la lámina.

**Viga con lámina de 150mm de ancho (C-n-15):** En estas vigas la falla es similar a la indicada para las vigas con lámina de 100mm, con la diferencia de que la lámina se desprende sin la aparición de grietas de flexión. La falla sigue siendo repentina y simultánea con la aparición de grietas de mayor magnitud que las presentadas en el caso anterior en la zona de recubrimiento.

**Viga con lámina de 100mm y láminas laterales en forma de U (C-n-U-10):** La falla es similar a la que ocurre en las vigas sin refuerzo; primero aparecen grietas verticales por flexión que aumentan en cantidad y longitud al aumentar la carga, posteriormente entra en fluencia la lámina de acero de refuerzo, lo cual está confirmado por las lecturas de deformación hechas con deformímetros eléctricos. Se produce un aumento en las grietas y la degradación del concreto en compresión. Al descargar la máquina, debido a la deformación permanente que queda en la lámina esta se desprende de la viga en su parte central, observándose nuevamente trozos de concreto y agregado unidos a la lámina de acero.

**Vigas con láminas de 150mm de ancho y láminas laterales en forma de U (C-n-U-15):** La viga se comporta inicialmente de forma similar a la anterior, empiezan a aparecer grietas de flexión y se observan esfuerzos crecientes en la lámina de acero. No obstante, antes de que estos esfuerzos alcancen el valor del esfuerzo de fluencia del material, se produce una falla por anclaje de la lámina, se producen grietas que atraviesan bajo las láminas laterales de refuerzo, finalmente la falla ocurre por degradación del concreto de recubrimiento y posterior separación de la lámina de acero.

## CONCLUSIONES Y

### RECOMENDACIONES

- Existe un aumento significativo de rigidez al colocar la lámina de acero. Sin embargo la mayor rigidez se logra cuando la lámina actúa sola, sin láminas laterales de anclaje. En contraste, el comportamiento con láminas de 150mm de ancho resulta similar con o sin láminas laterales.

- Aunque la rigidez sea mayor o similar sin láminas laterales, la falla de las vigas sin estas láminas laterales es frágil, ocurre sin previo aviso, súbitamente, y además cuando faltan las láminas laterales no se logran aumentos significativos de resistencia última de la viga.

- El comportamiento anterior está de acuerdo con los resultados obtenidos en la referencia 12, pero el tipo de falla aquí descrito ocurre para relaciones de ancho/espesor ( $b/t$ ) de la lámina mayores de 40 que es el límite indicado en dicha referencia, por lo que es aconsejable siempre que se desee aumentar la resistencia en un elemento estructural, que se coloquen dispositivos de anclaje adicionales, sin importar qué relación de  $b/t$  se tenga, tratando que esta relación sea lo mas grande posible.

- Al colocar láminas de acero laterales se logra aumentar significativamente la capacidad de carga de las vigas superando los valores teóricos. Sin embargo esto es cierto para las vigas ensayadas que tenían láminas de 100mm de ancho. En las vigas con láminas de 150mm, aunque se superó el valor teórico de resistencia, quedan dudas respecto a su comportamiento debido a que no fallaron por flexión (el acero de refuerzo no alcanzó a llegar a fluencia en el momento en que se produjo la falla por separación de la platina).

- En ambos casos (vigas con láminas de 100 y 150mm) con láminas de refuerzo lateral, se restableció la ductilidad de la viga y su capacidad de deformación, lográndose niveles de deformación similares a los de las vigas sin reforzar, y en algunos casos valores mayores.

- El aumento en la resistencia última, usando láminas de 150mm aunque alcance los valores teóricos deja las dudas ya anotadas. Sin embargo el aumento de rigidez al usar lámina de 150mm en lugar de lámina de 100mm es importante.

- No existe ninguna duda de que el sistema de refuerzo funciona para aumentar efectivamente la resistencia última, por lo menos cuando se coloca algún sistema de anclaje adecuado. El aumento en resistencia puede ser al menos del cincuenta por ciento del valor original.

- Las relaciones anteriores de rigidez se observan como deflexiones menores ante cargas iguales y como giros menores ante cargas iguales.

- Se observa que la resistencia del concreto (entre 160 y 260  $\text{kg/cm}^2$ ) no tuvo influencia importante, ni en el comportamiento de las vigas, ni en los valores de carga última alcanzados en las vigas reforzadas.

- Las medidas tomadas con deformímetros eléctricos, cerca a los bordes de las platinas en las

vigas sin láminas laterales de anclaje fueron de gran magnitud y del mismo orden aunque mayores que las registradas en el centro de la viga.

- Las medidas con deformímetros eléctricos en la parte central de las vigas indican que el acero con láminas de 100mm entró en fluencia, mientras que con láminas de 150mm, aunque con cargas mayores no entró en fluencia y la falla siguió ocurriendo por falta de anclaje.

- Se observa que la teoría del concreto reforzado en flexión está arrojando valores del orden de un cuarenta por ciento menores que los medidos experimentalmente, esto se debe probablemente a que la carga última se tomó como aquella en que se producía el colapso de la viga, con destrucción del concreto en compresión, y para esta carga, el acero de refuerzo se encontraba en la zona de endurecimiento por deformación, no contemplada dentro del modelo matemático. Por otra parte, debido a la forma como estaba armada la viga, es probable que existiera confinamiento para el concreto, que se debe ver reflejado en una mayor resistencia del concreto a compresión. Finalmente, se debe anotar que el momento último aunque es el valor que se debe utilizar en el diseño, tiene incluido el factor de reducción de resistencia, que en el caso de la flexión es de 0.9, por lo tanto, es menor que el valor teórico nominal, con que también se podrían comparar los resultados.

- Al comparar cargas últimas y de fisuración de las vigas, se observa que debido a que el nivel de fisuración de la viga depende de las deformaciones presentadas (deflexión), esta depende a su vez de la rigidez de la viga, es por ello que en las vigas con bandas inferiores, pero sin láminas de anclaje laterales, los momentos correspondientes a la aparición de las primeras fisuras y los correspondientes a cargas últimas son similares.

- Hay una diferencia importante entre la relación de momentos de fisuración con respecto al momento último de las vigas reforzadas y sin reforzar, las fisuras en las primeras se presentan para un momento cercano al cincuenta por ciento del momento último, mientras que en las segundas se presentan para un momento del veinte por ciento del momento último. Probablemente esto se debe a dos razones: primero, la viga reforzada, presenta una rigidez mayor que la viga sin reforzar, por lo que requiere cargas mayores para producir deformaciones transversales iguales a las de la viga sin reforzar; segundo en el rango inicial de carga, la viga presenta una profundidad efectiva mayor que la de la viga sin reforzar, por lo tanto el eje neutro de la viga se encuentra un poco mas abajo.

**DEBIDO A TODO LO ANTERIOR SE CONCLUYE:**

El sistema propuesto de refuerzo puede y de hecho ya ha funcionado, sí se realiza adecuadamente.

El análisis y el diseño de secciones a reforzar se puede hacer de acuerdo a la teoría del concreto reforzado, y en particular de acuerdo a las ecuaciones desarrolladas para esta investigación.

Sí se desea aumentar únicamente la rigidez de un elemento para que soporte las cargas para las que fue originalmente diseñado, disminuyendo así las deflexiones en dicho elemento, se puede pegar la lámina de acero sin ningún sistema adicional de anclaje, pero debe tenerse en cuenta que la falla de un elemento reforzado de esa manera puede ser repentina.

Sí se desea aumentar la resistencia de un elemento estructural se debe adicionar un sistema de anclaje adecuado, que puede consistir en láminas de acero adheridas lateralmente mediante el uso de resinas epóxicas; este sistema adecuado de anclaje tiene el propósito de prevenir una falla por separación de la plátina, y así restablecer la ductilidad al elemento estructural y además permite que se alcancen las resistencias de diseño. Aunque en el presente trabajo se superó la resistencia de diseño no se conoce con exactitud qué porcentaje de la resistencia se pierde debido a

causas tales como fluencia con el tiempo de la resina, pérdida de adherencia por corrosión a nivel microscópico en el acero de la lámina, fatiga de la unión acero-resina-concreto bajo cargas cíclicas, por lo cual se recomienda mantener las recomendaciones dadas por el CEB respecto a que:

$$\Delta M \leq 0.5 M_0$$

y

$$A_{req} \geq 2 A_{req, teor}$$

Con la primera condición se pretendería ahora garantizar que no se usen áreas de refuerzo muy grandes y así evitar problemas de anclaje.

No se sabe nada del comportamiento de este tipo de refuerzos frente a cargas cíclicas de gran magnitud, debido por una parte a que el sistema fue concebido en Suráfrica y posteriormente usado en Europa en sitios que en general no tienen nuestros problemas sísmicos. Si bien puede pensarse que el comportamiento sea adecuado sería aconsejable hacer un estudio experimental del sistema de refuerzo bajo dichas condiciones.

# BIBLIOGRAFÍA

1. BURKHARDT, P.; HERTIG P.; AESCHLIMAN, H.U. Experiences sur les poutres mixtes en acier-beton liées a l'aide d'adhésifs epoxydes en: **Materials and Structures, research and testing-Paris-Vol 8 No.46 (Julio/Agosto-1975).**
2. CEB - FIP. **Código modelo CEB -FIP para las estructuras de hormigón.**
3. CIFUENTES CIFUENTES GUSTAVO Estudio de resinas epoxicas para construcción. Tesis, **Universidad de los Andes, 1987.**
4. CUSENS A.R.; SMITH D.W. A study of epoxy resins adhesive joints in shear. **The structural engineer Vol. 58 A No. 1 Enero 1980.**
5. **Decreto 1400 de 1984 Código Colombiano de construcciones sismorresistentes.**
6. DUSSEK IAN J, . Strengthening of bridge beams by means of epoxy Resin bonded external reinforcement. **Transportation Research Record No. 785 - 1980.**
7. FERNANDEZ CANOVAS M. Las resinas epoxi en la construcción. **2a Edición, Instituto Eduardo Torroja, Madrid 1981.**
8. FERNANDEZ CANOVAS M. Refuerzo de elementos estructurales mediante encolado de bandas de acero con resinas epoxídicas. **Monografías de IET-Madrid No. 382-383 Diciembre 1985.**
9. FRANCISCO ARRIAGA MARTTEGHI Conso lidación de estructuras de maderamediante re fuerzos embebidos en formulaciones epoxi **Pro yecto de investigación AITIM 02/2 1984/85.**
10. INSTITUTO CHILENO DEL CEMENTO Técnicas de reparación y refuerzo de estructuras de hormigón armado y albañilerías **Santiago de Chile. I.CH.C. 1985 Aportes Técnicos 14.**
11. IMCYC. Reglamento de las construcciones de concreto reforzado (ACI 318 - 83) y comentarios. **Instituto Mexicano del cemento y del concreto A. C., México 1984.**
12. JONES R.; SWAMY R.N.; CHARIF A. Plate separation and anchorage of reinforced concrete beams strengthened by epoxy bonded steel plates. **The structural engineer Vol. 66 No. 5 Marzo 1. de 1988.**
13. Mac DONALD M.D.; CALDER A.J.J. Bonded steel plating for strengthening concrete structures. **International Journal of adhesion and adhesives. Vol. 2. No. 2. abril 1982.**
14. MANSUR M.A.; ONG K.C. Epoxy Repaired beams en: **Concrete International, Octubre 1985.**
15. ONG K.C.G.; MANZUR M.A. Punching shear of steel - concrete open sandwich slabs. **Magazine of concrete research Vol. 37 No 133 Diciembre 1985.**
16. PARK R.; PAULAY T Estructuras de concreto reforzado **Editorial Limusa, primeraedi ción, 1971.**
17. PLECNIK, JOSHEPH M.; PLECNIK JOHN; PARRA VICTOR; DIBA AHMAD Fire testing epoxies en: **Concrete international, Detroit Vol. 8 No 4 Abril 1986.**
18. RICO R. PEDRO, TORRES O JOSE V. Aplicación de las resinas epóxicas y poliéstericas en la construcción moderna. Tesis **Universidad Nacional de Colombia, 1975.**
19. RYBAK M. Renforcement des ponts par collage de l'armature. **RILEM Materials and Structures, Vol. 16 No 91. enero 1981.**
20. SANDINO PARDO A.; RODRIGUEZ C.A.; GO MEZ CORTES J.G.;NARANJO V. RICARDO. Tecnología del concreto **Asociación de Inge nieros Civiles de la Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, AICUN1988.**
21. SOLOMON, S. K.; SMITH D.W.; CUSENS A.R. Flexural test of steel concrete steel sandwiches **Magazine of concrete reseach V. 28 No. 94 Mar 1976.**
22. VAN GEMERT, D.;VANDEN BOSCH M Durability of epoxy bonded external steel reinforce ments en: **Durability of building materials and components, third international confe rence; thechnical Research Centre (Fin landia); ASTM; RILEM, National bureau of standards, National Research Council (Canada); CIB(3:1984). ESPOO, FINLAND,UTT 1985.**