



ART. 8

COMPORTAMIENTO DEL HORMIGÓN H-21 CONFINADO LATERALMENTE CON POLÍMEROS REFORZADOS CON FIBRA DE CARBONO



COMPORTAMIENTO DEL HORMIGÓN H-21 CONFINADO LATERALMENTE CON POLÍMEROS REFORZADOS CON FIBRA DE CARBONO

Morales Retamozo Ricardo Normando

moralesretamozo@gmail.com

RESUMEN

Una estructura requiere ser reforzada cuando se efectuarán reformas constructivas, se realizará un cambio de uso de la estructura, o cuando algún elemento de estructura perdió sección, por acciones accidentales como sismo, fuego, explosión, choque, etc. Los métodos tradicionales de refuerzo son: recrecido de la sección, postensado exterior, refuerzo con chapas de acero, etc.

Cuya principal desventaja es el incremento de peso de la estructura, además de su elevado costo de colocación. Ante estos inconvenientes años recientes se ha incrementado el uso de polímeros reforzados con fibra FRP, como elemento de confinamiento de elementos de hormigón sometidos a compresión.

INTRODUCCIÓN

En este trabajo de investigación, se realizó una revisión bibliográfica de elementos sometidos a esfuerzos de compresión reforzados con FRP; se analizó las recomendaciones de diseño propuestas por las guías ACI 440.2R-08, la FIB 2001 BULLETIN 14 y los modelos predictivos desarrollados por Mander et al. 1984, Samaan et. al 1998, Splestra y Monti 1999, Teng et al. 2009 y Wu y Zhou 2010.

Se estudió el comportamiento de probetas de hormigón de 300 x 150 mm y 200 x 100 mm, con una resistencia a compresión de 21 MPa, sometidas a compresión axial, sin confinar y confinadas con una, tres y cinco

capas de polímeros reforzados con fibras de carbono FRP, determinándose sus propiedades mecánicas y su comportamiento tensión-deformación

Posteriormente, se realizó el cálculo de la resistencia y deformación máxima del hormigón confinado con FRP, según la metodología descrita por las guías y modelos mencionados, y se comparó los resultados con los obtenidos experimentalmente.

MATERIALES Y MÉTODOS

La mayoría de trabajos de rehabilitación consisten en reparar viejas estructuras deterioradas, estructuras dañadas por sismos, desastres naturales, o para aumentar la capacidad de carga. En particular, los elementos sometidos a sollicitaciones de compresión, como columnas de hormigón armado y pilas de puentes, resultan de fundamental importancia para la seguridad de una estructura.

El confinamiento con polímeros reforzados con fibras FRP, mejora el comportamiento de elementos sometidos a esfuerzos de compresión, debido a que, la capacidad última del hormigón confinado, en términos de resistencia y máxima deformación axial, se relaciona directamente con la presión lateral generada por los mecanismos de confinamiento.

En esta investigación, se estudió el incremento de

resistencia de un hormigón de resistencia H-21, confinado lateralmente con polímeros reforzados con fibras de carbono FRP, analizándose la influencia del número de capas de confinamiento, sobre la resistencia y deformación última de los hormigones. También se estudió algunos modelos matemáticos y guías de diseño, para predecir el comportamiento tensión-deformación del hormigón confinado con FRP.

Se estudió el comportamiento a compresión del hormigón H-21 confinado con fibras de carbono, para lo cual se ensayaron a compresión probetas de hormigón de 300 x 150 mm y 200 x 100 mm, sin confinar y confinadas con una, tres y cinco capas de polímeros reforzados con fibras de carbono FRP, determinándose sus propiedades mecánicas y su comportamiento tensión-deformación.

También, se realizó el cálculo de la resistencia y la curva esfuerzo-deformación, del hormigón confinado con FRP, según la metodología descrita por las guías y modelos propuestas por las guías ACI 440.2R-08, la FIB 2001 BULLETIN 14 y los modelos predictivos desarrollados por Mander et al. 1984, Samaan et. al 1998, Splestra y Monti 1999, Teng et al. 2009 y Wu y Zhou 2010. Por último se realizó una comparación entre los valores experimentales y los teóricos.

RESULTADOS PROBETAS DE HORMIGÓN SIN CONFINAR

En la Tabla 4.1, se muestra un resumen de los resultados obtenidos en las probetas de hormigón de 300 x 150 mm sin confinar. Donde $f'c$ es la tensión máxima, E_c es el módulo de elasticidad, ϵ_c es la deformación longitudinal correspondiente a la tensión máxima, ϵ_t es la deformación transversal y μ es el coeficiente de Poisson. La Figura 4.1, muestra

el comportamiento tensión-deformación axial del hormigón sin confinar. En la Tabla 4.8, se muestra los resultados de la resistencia a compresión $f'c$ del hormigón sin confinar de las probetas de (200x100) mm. En estos elementos no se pudo instalar el compresómetro, por lo que no se cuenta con todas las propiedades del hormigón sin confinar.

Tabla 4.1 Propiedades mecánicas del hormigón sin confinar

PROBETAS DE 300 x 150 mm					
Elemento	$f'c$ (MPa)	E_c (MPa)	ϵ_c (mm/mm)	ϵ_t (mm/mm)	μ (mm/mm)
P-1	19,79	18071,6	0,00187	0,000200	0,170
P-2	21,19	18720,85	0,00200	0,000220	0,176
P-3	26,98	20718,3	0,00256	0,000327	0,195
P-4	27,92	21118,95	0,00265	0,000373	0,199
P-5	15,85	16309,3	0,00151	0,000153	0,154
P-6	20,21	18206,45	0,00191	0,000207	0,172
Promedio	21,99	18.857,58	0,002081	0,000247	0,178

Figura 4.1 Diagrama esfuerzo-deformación del hormigón sin confinar

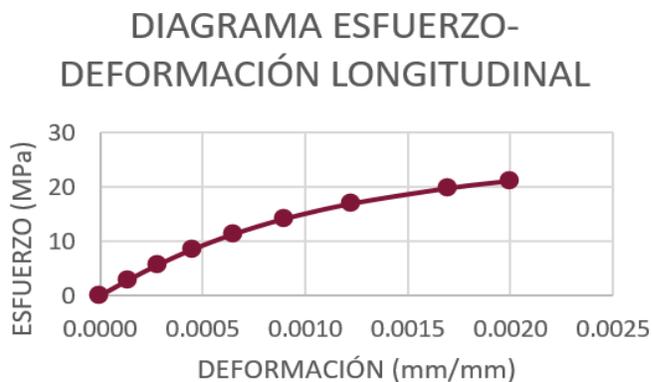


Tabla 4.2 Resistencia a compresión del hormigón sin confinar

PROBETAS DE 200 x 100 mm	
Elemento	$f'c$ (MPa)
P-1	26,15
P-2	24,21
P-3	23,26
P-4	15,19
P-5	25,48
P-6	14,54
Promedio	21,47

PROBETAS DE HORMIGÓN CONFINADAS CON FRP

El modo de fallo está gobernado por la rotura del encamisado de fibra de carbono, la rotura fue perpendicular a la dirección de la fibra. Se observó en los ensayos, que en instantes previos a la rotura del FRP se oyeron algunos sonidos, probablemente debidos a la rotura de algunas fibras, posteriormente ocurrió el fallo y en algunos casos fue explosivo.

Las Tablas 4.3, 4.4 y 4.5, muestran los resultados obtenidos en los ensayos realizados a probetas de hormigón de 300 x 150 mm y 200 x 100 mm, confinadas con una, tres y cinco capas de FRP. Donde f'_{cc} es la tensión máxima del hormigón confinado, E_{cc} es el módulo de elasticidad inicial, ϵ_{cc} es la deformación axial correspondiente a la tensión máxima del hormigón confinado. ϵ_{fu} es la deformación transversal última o deformación última efectiva.



Tabla 4.3
Resultados de probetas de hormigón confinadas con una capa de FRP

PROBETAS DE 300 x 150 CON UNA CAPA DE CONFINAMIENTO				
Elemento	f'_{cc} (MPa)	E_i (MPa)	ϵ_{cc} (mm/mm)	ϵ_{fu} (mm/mm)
FRP-1-1	40,2	24451,73	0,008203	0,009267
FRP-1-2	32,07	20405	0,007200	0,001907
FRP-1-3	30,49	19494,53	0,006995	0,001013
FRP-1-4	24,76	16696,7	0,006293	0,000280
FRP-1-5	32,54	21263,24	0,007260	0,002273
FRP-1-6	25,97	16851,69	0,006435	0,000327
Promedio	31,01	19.860,48	0,007064	0,002511

Tabla 4.4
Resultados de probetas de hormigón confinadas con tres capas de FRP

PROBETAS DE 300 x 150 mm CON TRES CAPAS DE CONFINAMIENTO				
Elemento	f'_{cc} (MPa)	E_i (MPa)	ϵ_{cc} (mm/mm)	ϵ_{fu} (mm/mm)
FRP-3-1	57,58	20130,22	0,028690	0,004797
FRP-3-2	56,98	19701,92	0,028690	0,004617
FRP-3-3	66,30	24116,78	0,028923	0,007110
FRP-3-4	57,51	19913,77	0,028690	0,004777
FRP-3-5	52,60	19631,35	0,028715	0,003417
FRP-3-6	63,51	22973,88	0,028823	0,006487
Promedio	59,08	21.077,99	0,028755	0,005201

Tabla 4.5
Resultados de probetas de hormigón confinadas con cinco capas de FRP

PROBETAS DE 200 x 100 mm CON CINCO CAPAS DE CONFINAMIENTO				
Elemento	f'cc (MPa)	Ei (MPa)	εcc (mm/m m)	εfu (mm/m m)
FRP-5-1	126,44	-	-	-
FRP-5-2	110,20	-	-	-
FRP-5-3	92,38	-	-	-
FRP-5-4	150,05	-	-	-
FRP-5-5	115,87	-	-	-
FRP-5-6	117,46	-	-	-
Promedio	118,73	-	-	-

Las Figuras 4.2 y 4.3, muestran el comportamiento tensión-deformación axial del hormigón confinado con una y tres capas de FRP. (Los resultados hasta obtener la carga máxima)

Figura 4.2
Diagrama esfuerzo-deformación del hormigón confinado con una capa de FRP

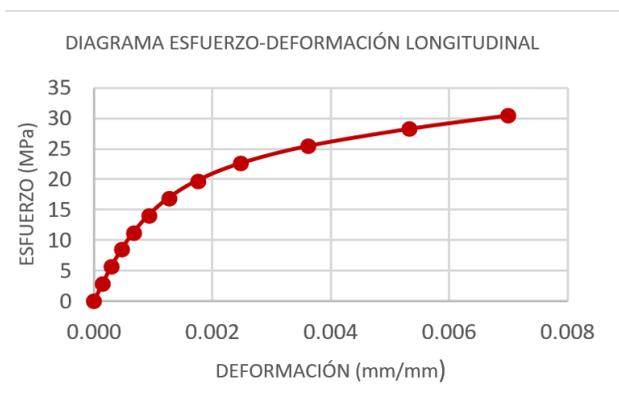
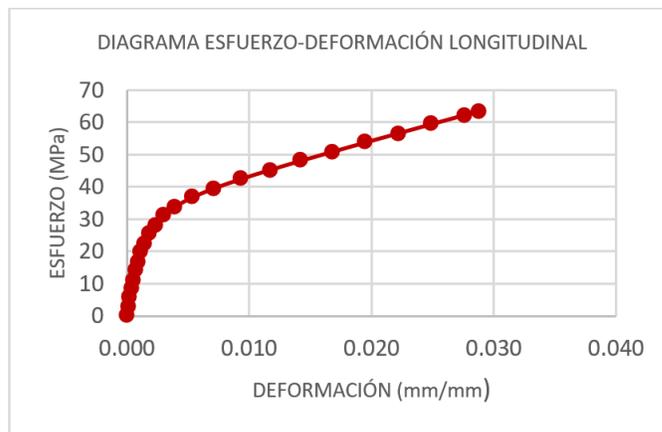


Figura 4.3
Diagrama esfuerzo-deformación del hormigón confinado con tres capas de FRP



ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

TENSIÓN MÁXIMA

Los resultados de la Tabla 5.1, muestran un significativo incremento de la tensión a compresión f'cc, debido al confinamiento con FRP. En relación con la resistencia del hormigón sin confinar f'c.

Tabla 5.1
Incremento de la tensión a compresión

Elemento	f'c (MPa)	Nº de capas de FRP	f'cc (MPa)	f'cc/f'c
300x150 mm	21,99	1	31,01	1,41
		3	59,08	2,69
200x100 mm	21,47	5	118,73	5,53

A continuación, se describen algunos detalles de los resultados.

Los resultados muestran en primer lugar que el confinamiento con FRP, mejora la capacidad de carga axial en todos los casos. Se observa un incremento de 141 % en la tensión,

cuando las probetas de hormigón son confinadas con una capa de FRP. El confinamiento con tres capas de FRP, consiguió incrementar la tensión 269 %. Mientras que para cinco capas de FRP, el incremento es de 553 %.

DEFORMACIÓN AXIAL

En la Tabla 5.2, se indica el promedio de la deformación axial ϵ_{cc} (Correspondiente a la tensión axial máxima f'_{cc}). De las probetas de hormigón confinadas con una y tres capas de FRP. Y la relación ϵ_{cc}/ϵ_c , siendo ϵ_c el promedio de las deformaciones de las probetas sin confinar.

Tabla 5.2
Incremento de la deformación axial

Elemento	ϵ_c	N° de capas	ϵ_{cc}	ϵ_{cc}/ϵ_c
300x150 mm	0,002081	1	0,007064	3,39
		3	0,028755	13,82

El refuerzo con FRP, incrementa notablemente la deformación axial última de las probetas con respecto a las probetas sin confinar.

DEFORMACIÓN TRANSVERSAL

En la Tabla 5.3, se muestran los promedios de la deformación transversal ϵ_{tmax} , que se produce en el momento del fallo de las probetas confinadas. Y la deformación transversal ϵ_t , de las probetas sin confinar.

Tabla 5.3
Incremento de la deformación transversal

Elemento	ϵ_t	N° de capas	ϵ_{tmax}	$\epsilon_{tmax}/\epsilon_t$
300x150 mm	0,000247	1	0,002511	10,17
		3	0,005201	21,05

La deformación transversal, se incrementa debido al efecto del confinamiento con FRP. El confinamiento con una capa de FRP, incrementa en un 1017 %, la deformación transversal del hormigón sin confinar. Sin embargo, para un confinamiento con 3 capas de FRP, el incremento es del orden del 2105 % la deformación transversal del hormigón sin confinar.

COMPORTAMIENTO TENSIÓN

DEFORMACIÓN.- Las Figuras 5.1 y 5.2, muestran el comportamiento tensión-deformación, de las probetas sin confinar, y confinadas con una y tres capas de FRP. Para deformaciones axiales y deformaciones transversales.

Figura 5.1
Diagrama esfuerzo-deformación axial

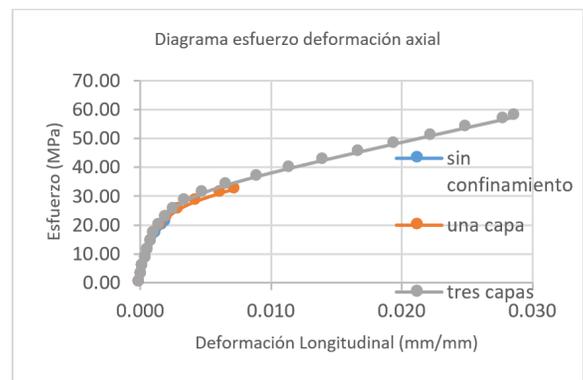
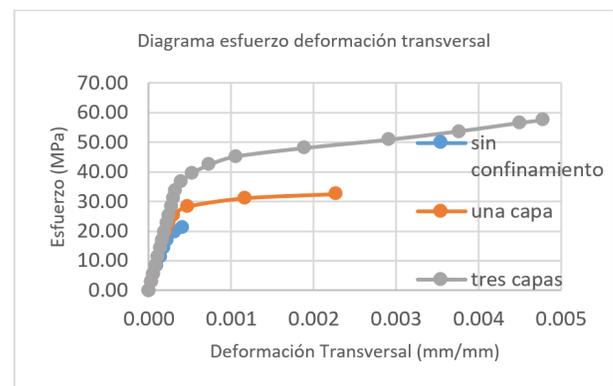


Figura 5.2
Diagrama esfuerzo deformación transversal



Se observa que las probetas reforzadas con FRP, tienen un incremento de resistencia respecto a las probetas sin confinamiento. Las probetas reforzadas con una y tres capas de fibra de carbono, la respuesta tensión-deformación tiene una forma aproximadamente bilineal, con una segunda rama ascendente, característica del hormigón confinado con FRP.

Se puede decir que el comportamiento tensión-deformación del hormigón confinado con FRP, puede dividirse en dos regiones. En la primera región el comportamiento es muy similar al hormigón sin confinar, sin embargo, la curva asciende más allá de la tensión máxima del hormigón sin confinar. En la segunda región el hormigón empieza a agrietarse y se activa totalmente el FRP, incrementando la capacidad de resistencia de las probetas.

COMPARACIÓN DE LOS MODELOS DE CONFINAMIENTO CON LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES

A continuación, se realiza una comparación de los resultados obtenidos experimentalmente, respecto a los valores teóricos de los modelos de confinamiento, para determinar qué modelo presenta un mayor ajuste a los valores obtenidos experimentalmente.

Las Tablas 5.4, 5.5, y 5.6, muestran los resultados del cálculo de la presión de confinamiento f_l , la resistencia f'_{cc} , y la deformación longitudinal ϵ_{cc} , del hormigón confinado. Según la metodología descrita en cada uno de los modelos, para probetas de 300 x 1500 mm y 200 x 100 mm, confinadas con una, tres y cinco capas de FRP.

Tabla 5.4
Resultados de tensión y deformación de probetas de 300x150 mm con una capa de confinamiento

PROBETAS DE 300 x 150 mm CON UNA CAPA DE CONFINAMIENTO					
MODELO	f_l (MPa)	f'_{cc} (MPa)	$f'_{cc,exp}/f'_{cc,mod}$	ϵ_{cc} (mm/mm)	$\epsilon_{cc,exp}/\epsilon_{cc,mod}$
EXPERIMENTAL	-	31,010	1,00	0,007064	1,00
ACI 440,2R-08	2,176	29,171	1,06	0,006440	1,10
FIB 2001 Bulletin-14	1,760	32,292	0,96	0,007000	1,01
MANDER et al 1988	2,176	34,307	0,90	0,007900	0,89
SAMAAN et al. 1998	2,176	32,330	0,96	0,006061	1,17
SPOLESTRA 1999	2,176	25,150	1,23	0,006969	1,01
TENG et al. 2009	2,176	28,127	1,10	0,006893	1,02
WU Y ZHOU 2010	2,176	28,468	1,09	-	-

Tabla 5.5
Resultados de tensión y deformación de probetas de 300x150 mm con tres capas de confinamiento

PROBETAS DE 300 x 150 mm CON TRES CAPAS DE CONFINAMIENTO					
MODELO	f_l (MPa)	f'_{cc} (MPa)	$f'_{cc,exp}/f'_{cc,mod}$	ϵ_{cc} (mm/mm)	$\epsilon_{cc,exp}/\epsilon_{cc,mod}$
EXPERIMENTAL	-	59,080	1,00	0,028755	1,00
ACI 440,2R-08	6,528	43,532	1,36	0,013070	2,20
FIB 2001 Bulletin-14	11,075	61,095	0,97	0,020584	1,40
MANDER et al 1988	14,345	66,949	0,88	0,023400	1,23
SAMAAN et al. 1998	14,345	60,702	0,97	0,029806	0,96
SPOLESTRA 1999	14,345	57,681	1,02	0,019999	1,44
TENG et al. 2009	14,345	68,948	0,86	0,028160	1,02
WU Y ZHOU 2010	14,345	57,391	1,03	-	-

Tabla 5.6
Resultados de tensión y deformación de probetas de 200x100 mm con cinco capas de confinamiento

PROBETAS DE 200 x 100 mm CON CINCO CAPAS DE CONFINAMIENTO				
MODELO	f_l (MPa)	f'_{cc} (MPa)	$f'_{cc,exp}/f'_{cc,mod}$	ϵ_{cc} (mm/mm)
EXPERIMENTAL	-	118,730	1,00	-
ACI 440,2R-08	16,320	75,326	1,58	0,027920
FIB 2001 Bulletin-14	40,869	85,601	1,39	0,031870
MANDER et al 1988	35,863	84,114	1,41	0,031200
SAMAAN et al. 1998	35,863	94,990	1,25	0,044403
SPOLESTRA 1999	35,863	87,540	1,36	0,032808
TENG et al. 2009	35,863	143,689	0,83	0,054800
WU Y ZHOU 2010	35,863	97,835	1,21	-

COMPARACIÓN CON LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES

Una vez obtenidos los valores de tensión y deformación teóricos del hormigón confinado, se los relacionó con el promedio de los resultados experimentales. Esta relación, es un parámetro de comparación, que nos indica que modelo tiene mejor ajuste, o es más próximo a los resultados obtenidos experimentalmente. La relación entre valores experimentales y teóricos puede indicar tres situaciones:

$f'_{cc,exp}/f'_{cc,mod} = 1$ $e_{cc,exp}/e_{cc,mod} = 1$ Caso ideal

$f'_{cc,exp}/f'_{cc,mod} > 1$ $e_{cc,exp}/e_{cc,mod} > 1$ Del lado seguro

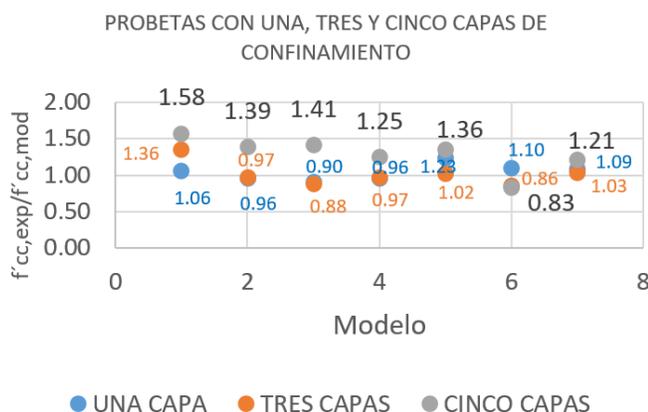
$f'_{cc,exp}/f'_{cc,mod} < 1$ $e_{cc,exp}/e_{cc,mod} < 1$ Del lado inseguro

COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA CALCULADA CON LA RESISTENCIA EXPERIMENTAL

La Figura 5.3 muestra en el eje de las abscisas las guías o modelos utilizados para la predicción de los resultados, y el eje de las ordenadas muestra la relación de la resistencia experimental y teórica ($f'_{cc,exp}/f'_{cc,mod}$), para probetas de 300 x 1500 mm y 200 x 100 mm, con una, tres y cinco capas de confinamiento respectivamente.

Figura 5.3

Modelos de predicción versus la relación $f'_{cc,exp}/f'_{cc,mod}$, para probetas confinadas con una, tres y cinco capas de confinamiento.



En general se observa que, con una capa de confinamiento, la resistencia del hormigón confinado calculado con los modelos, es cercana a los resultados experimentales. Pero a medida que se aumenta el número de capas de confinamiento, los resultados de las predicciones son más conservadores.

COMPARACIÓN DE LA DEFORMACIÓN

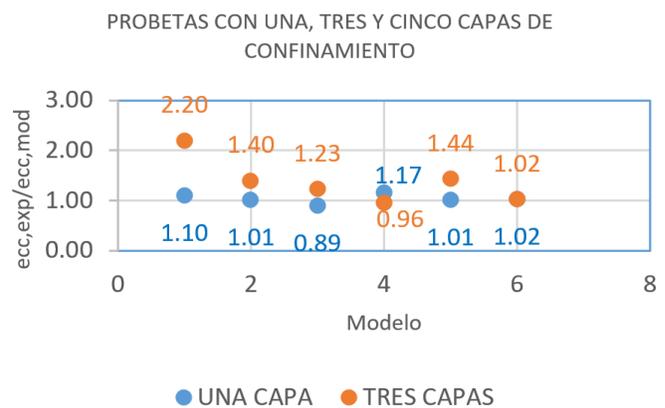
CALCULADA CON LA DEFORMACIÓN EXPERIMENTAL

Se obtuvieron valores experimentales, de deformaciones longitudinales ϵ_{cc} , solo para las probetas de 300 x 150 mm, con una y tres capas de confinamiento con FRP. No se pudo instalar el equipo para medir la deformación en las probetas de (200 x 100) mm.

La Figura 5.4, muestra en el eje de las abscisas las guías o modelos utilizados para la predicción de los resultados, y el eje de las ordenadas muestran la relación de la deformación experimental y teórica

Figura 5.4

Modelos de predicción versus la relación $e_{cc,exp}/e_{cc,mod}$, para probetas confinadas con una, tres y cinco capas de confinamiento.



COMPARACIÓN DE LOS DIAGRAMAS ESFUERZO

DEFORMACIÓN:

Los métodos de la ACI 440.2R-08, FIB 2001 BULLETIN 14, Mander et al. 1984 y Samaan et. al 1998, cuentan con ecuaciones para obtener curvas teóricas de esfuerzo-deformación. A continuación, se compara las curvas de esfuerzo-deformación obtenidas experimentalmente, con las calculadas con los modelos teóricos. Para probetas de 300 x 150 mm.

Figura 5.5

Diagrama de esfuerzo-deformación experimental y teórico Probetas de 300x150mm, confinadas con una capa de FRP.

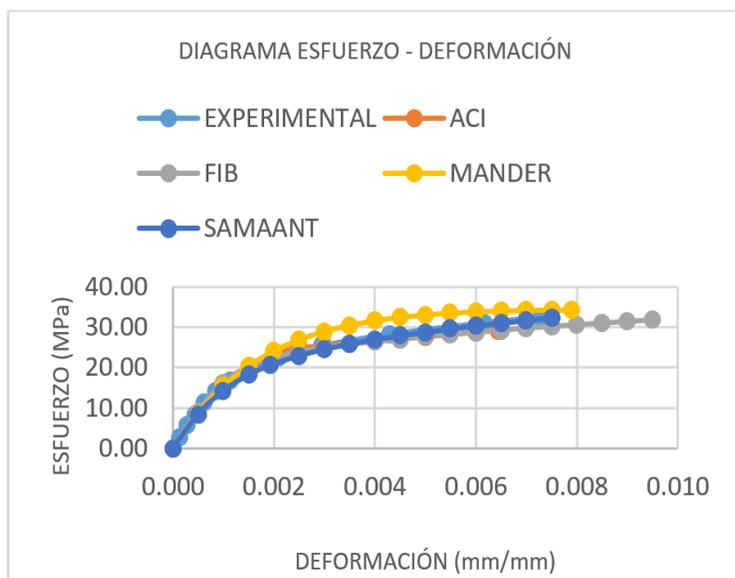
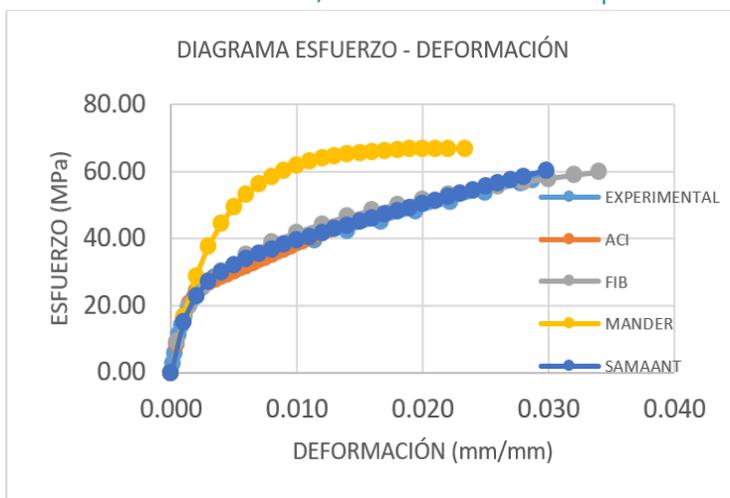


Figura 5.6

Diagrama de esfuerzo-deformación experimental y teórico Probetas de 300x150mm, confinadas con una capa de FRP.



Las curvas de esfuerzo-deformación, calculadas según la metodología descrita por el ACI 440.2R-08, y la FIB 2001 BULLETIN 14, presentan valores menores de tensión máxima, razón por la cual la curva en la segunda región tiene menor pendiente que la experimental.

La curva de esfuerzo-deformación, calculada por el modelo de Mander et al. 1984, presenta valores de esfuerzo máximo mayores a los experimentales. Este comportamiento, puede deberse a que el modelo originalmente, se desarrolló para simular el comportamiento del hormigón confinado con tubos de acero. El modelo de Samaan et. al 1998, es el que más se ajusta a la curva esfuerzo-deformación experimental.

De la misma manera, se compara las curvas esfuerzo-deformación obtenidas experimentalmente, con las calculadas con los modelos teóricos. probetas de 300 x 150 mm, confinadas con tres capas de FRP.

CONCLUSIONES

A continuación, se presentan las conclusiones obtenidas en el presente trabajo de investigación:

El confinamiento con polímeros reforzados con fibra de carbono FRP, incrementa significativamente la resistencia y deformación del hormigón, por tanto la capacidad de carga de rotura del hormigón se incrementa con el número de capas de confinamiento de FRP. Con una capa de confinamiento de FRP, se incrementó 141% la resistencia del hormigón sin confinar. Con tres capas de confinamiento de FRP, el incremento de la tensión fue del 269 %. Y con cinco capas de confinamiento, la resistencia del hormigón aumentó 553 % la resistencia del hormigón sin confinar.

La relación entre la deformación del hormigón confinado y el hormigón sin confinar (E_{cc}/E_c), puede considerarse como un índice de ductilidad. Este índice se incrementa con el número de capas de FRP. Con una capa de confinamiento de FRP el índice de ductilidad es del 339 %, para tres capas de confinamiento el índice de ductilidad es de 1382 %.

La deformación transversal incrementa debido al efecto del confinamiento con FRP. Con una capa de FRP, la deformación transversal incrementó 1017 %, la deformación transversal del hormigón sin confinar. Con tres capas de confinamiento de FRP, la deformación transversal aumento 2105 %, la deformación transversal del hormigón sin confinar.

Las curvas tensión-deformación, tienen una forma característica formada por dos tramos. En el primer tramo el comportamiento es similar al del hormigón sin confinar, en el segundo tramo la pendiente crece de forma aproximadamente lineal. La pendiente en el segundo tramo se incrementa con el número de capas de confinamiento de FRP.

El fallo de las probetas confinadas, fue en la mayoría de los casos por rotura del FRP, la rotura fue perpendicular a la dirección de la fibra. En instantes previos a la rotura del FRP, se oyeron algunos sonidos, probablemente debido a la rotura de algunas fibras, posteriormente ocurrió el fallo, y en algunos casos fue explosivo.

Se observó una pequeña capa de hormigón o mortero adherido al FRP, lo que indica una buena adherencia entre el hormigón y el FRP.

Existe diferencia en la manera de determinar la deformación última efectiva del FRP (ϵ_{uj}), Lam y Teng, 2003, proponen que la deformación a tracción del material, (valor proporcionado por el fabricante), debe ser multiplicado por un factor de eficacia $k_e=0.586$, para muestras circulares. El código ACI 440.2R-08, limita la deformación última efectiva del FRP,

a un valor 0,004. La FIB 2001 BULLETIN 14, recomienda que la deformación última efectiva del FRP, sea justificado experimentalmente.

Se observó que, con una capa de confinamiento, la resistencia calculada es similar a la experimental, pero a medida que se incrementa las capas de confinamiento, los resultados de las predicciones son más conservadores, se observó que con cinco capas de confinamiento la mayoría de los modelos de predicción calculaban resistencias menores a las experimentales.

De la misma manera a medida que se incrementa las capas de confinamiento de FRP, el ajuste de la deformación longitudinal, respecto a los valores experimentales es menor.

El comportamiento de la curva tensión-deformación de los modelos analíticos, es similar en la primera región con la curva experimental, en la segunda región difiere la pendiente de la curva experimental, respecto a los modelos predictivos. El modelo que más se asemeja a la curva experimental, es el modelo de Samaan et. al 1998.

BIBLIOGRAFÍA

- ACI 440.2R-08 (2008). Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures. American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan.
- ASTM-C469 (2010). Método Estándar de Ensayo para Módulo de Elasticidad Estático y Relación de Poisson del Concreto en Compresión. American Society for Testing and Materials.
- Arteaga A. y A. de Diego, (2007) "Refuerzo de estructuras de hormigón con materiales compuestos" en Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. Madrid España. Marzo de 2007.

- Avilés, G. (2002) Estudio Experimental Sobre el Refuerzo a Cortante de Estructuras de Hormigón Mediante Materiales Compuestos. Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería de la Construcción. Universidad Politécnica de Cataluña
- Chambi, J. (2012) Caracterización Estadística de los Modelos de Confinamiento y Determinación de Coeficientes Parciales de Seguridad para el Refuerzo de Pilas de Puentes de Hormigón Mediante Materiales Compuestos (CFRP). Tesis Doctoral. Barcelona, Departamento de Resistencia de Materiales y Estructuras, Universidad Politécnica de Cataluña.
- De Lorenzis, L. (2001). A comparative Study of Model on Confinement of Concrete Cylinders with FRP composites. Tesis Doctoral. Department of Innovation Engineering, University of Lecce. Italy
- Del Rio, A. (2008). Patología, Reparación y Refuerzo de Estructuras de Hormigón Armado de Edificación. E.T.S. Arquitectura Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Madrid, España
- FIB Bulletin 14 (2001). Externally bonded FRP reinforcement for RC structures. Task Group 9.3 FRP Reinforcement for Concrete Structures. Fédération Internationale du Béton. Lausanne
- Hull, D. (1987). Materiales Compuestos. Editorial Reverte S.A. Barcelona.
- Lam, L. y J. Teng, (2003) "Design-Oriented Stress-Strain Model for FRP-Confined Concrete in Rectangular Columns" en Journal of Reinforced Plastic and Composites. Volumen 22, N° 13, pp. 1149-1186.
- Mander, J.; Priestley, M. y R. Park, (1988) "Theoretical stress-strain model for confiner concrete" en ASCE Journal of Structural Engineering. Volumen 114, N° 8, pp. 1804-1826.
- Mirmiriam, A. y M. Shahawy, (1997) "Behavior of concrete columns confined*** by fiber composites" en ASCE Journal of Structural Engineering. Volumen 123, N° 5, pp. 583-590.
- Peña, C. y M. Ehsani, (2008) "Uso de Telas Polímeras Reforzadas con Fibras (FRP) para la Rehabilitación y Refuerzo de Infraestructura y Edificaciones." Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural. XVI Congreso Nacional de Ingeniería Estructural. Veracruz, Ver. 2008.
- Pulido, M. y J. Sobrino, (1998) "Criterios de Diseño para el Refuerzo de Estructuras con Materiales Compuestos con fibras de Carbono. Casos Prácticos" en Ingeniería N° 237 Universidad de los Andes.
- Rougier, V: (2003) Confinamiento de Columnas de Hormigón con Materiales Compuestos. Tesis de Maestría. Tucuman, Universidad Nacional de Tucuman.
- Saadatmanesh, H.; Ehsani, M. y M. Li (1994) "Strength and ductility of concrete columns externally reinforced with fiber composite straps" en ACI Structural Journal. Volumen 91, N° 4, pp. 434-447.
- Samaan, M.; Mirmiran, A. y M. Shahawy (1998) "Model of concrete confined by fiber composites" en ASCE Journal of Structural Engineering. Volumen 124, N° 9, pp. 1025-1031.
- Sika, (2013) Técnicas de refuerzo y Reparación con Materiales Compuestos. Sika Group
- Spoelstra, M. y G. Monti (1999) "FRP-Confined concrete model" en ASCE Journal of Composites for Construction. Volumen 3, N° 3, pp. 143-150.
- Teng, J.; Jiang, T.; Lam, L. y Y. Luo (2009) "Refinement of a Design-Oriented Stress-Strain Model for FRP-Confined Concrete" en Journal of Composites for Construction. Volumen 13, N° 4, pp. 269-278.
- Toutanji, H. (1999) "Stress-strain characteristics of concrete columns externally confined with advanced fiber composite sheets" en ACI Materials Jour-

nal. Volumen 96, N° 3, pp. 397-404.

☛ Wu, G.; Lü, Z. y Z. Wu (2005) "Strength and ductility of concrete cylinders confined with FRP composites" en *Construction and Building Materials*. Volumen 20, N° 3, pp. 134-148.

☛ Wu y Zhou (2010) "Unified strength model based on Hoek-Brown failure criterion for circular and square concrete columns confined by FRP". en *ASCE Journal of Material in Civil Engineering*. Volumen 14, N° 2, pp. 175-184