



**EVALUAR PROPIEDADES MECÁNICAS DE MIEMBROS
CORTOS DE CONCRETO ESTRUCTURAL SOMETIDOS A
TENSIONES DE COMPRESIÓN AL ESTAR ENVUELTOS
EN MANTOS DE FIBRA DE CARBONO**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO CIVIL

REALIZADO POR

Wilson Samuel González Valera

Josselyn Sthefanya Malabet Olivero

PROFESOR GUÍA

ING. MSc. Guillermo Bonilla

FECHA

Caracas, Abril de 2017

SINOPSIS

El tema analiza el comportamiento mecánico de miembros cortos de concreto confinados con manto en fibra de carbono (CFRP: *Carbon Fiber Reinforced Polymer Wrap a manera de exo refuerzo*). En este caso, fueron evaluadas las propiedades mecánicas de dichos miembros al ser sometidos a una carga monotónica creciente variando la proporción de altura confinada.

Para el estudio, fueron desarrolladas veinte (20) probetas normalizadas de concreto con dimensiones 15 cm de diámetro y 30 cm de altura. Como referencia fueron dispuestos cinco (5) miembros que no recibieron exo refuerzo, cumpliendo la función de patrón de comparación. Los miembros restantes fueron reforzados siguiendo el siguiente patrón:

- Cinco (5) especímenes, exo-reforzados con 1/3 de la altura total en la zona central.
- Cinco (5) especímenes, exo-reforzados con 2/3 de la altura total en la zona central.
- Cinco (5) especímenes, con exo-refuerzo en la totalidad de su altura.

El estudio permitió conocer los aportes que la matriz Fibra- Epoxi suministra al miembro corto de concreto al estar confinado en diferentes proporciones de alturas.

Se observó que variaciones no solo en resistencia sino también en ductilidad fueron los aportes más resaltantes e importantes para las consideraciones del uso de exo-refuerzo con manto de fibra de carbono.

Por medio de los análisis se logró determinar un gráfico que permite conocer la altura de confinamiento necesario para las sollicitaciones requeridas, así como conocer las tensiones a las cuales se encuentra sometida la matriz Fibra – Epoxi.

ÍNDICE

CAPITULO I PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Antecedentes	2
1.3. Objetivo de la investigación.....	4
1.3.1. Objetivo General.....	4
1.3.2. Objetivos Específicos	4
1.4. Alcance y Limitaciones	4
CAPITULO II MARCO TEÓRICO	6
2.1. Fundamentos teóricos	6
2.1.1. Polímeros reforzados con fibra de carbono (Carbon Fiber Reinforced Polymer).....	6
2.1.2. Concreto.....	6
2.1.3. Comportamiento del concreto a tensión de compresión	6
2.1.4. Energía absorbida por un elemento.....	7
2.1.5. Relación de Poisson.....	8
2.1.6. Variación Volumétrica.....	9
2.1.7. Cilindros de Pared delgada	9
CAPITULO III MARCO METODOLÓGICO.....	11
3.1. Naturaleza y tipo de investigación.....	11
3.2. Población	11
3.3. Muestra	11
3.4. Recolección de datos	11
3.5. Equipos de aplicación de carga.....	11

3.6.	Accesorios empleados.....	11
3.7.	Variables estudiadas y unidades de trabajo	12
3.7.1.	Variables dependientes	12
3.7.2.	Variables independientes	12
3.7.3.	Factores constantes	12
3.7.4.	Parámetros constantes.....	12
3.8.	Materiales utilizados. Propiedades y características. Dosificaciones	13
3.8.1.	Concreto.....	13
3.8.2.	Resina Epoxi.....	13
3.8.3.	Fibra de Carbono Tipo Manto.....	14
3.9.	Diseño experimental	14
3.10.	Fase de ejecución.....	15
3.10.1.	Documentación	15
3.10.2.	Elaboración de muestras.....	15
3.10.3.	Colocación de manto CFRP	16
3.10.4.	Propiedades Mecánicas - Ejecución de ensayos	17
CAPITULO IV RESULTADOS Y ANÁLISIS		18
4.1.	Comportamiento Tensión – Deformación Axial.....	18
4.1.1.	Muestra Patrón (inconfiada)	18
4.1.2.	Confinamiento en 1/3 de la altura en zona central	19
4.1.3.	Confinamiento en 2/3 de la altura total en la zona central	20
4.1.4.	Confinamiento en la totalidad de la altura.....	22
4.1.5.	Relación Tensión/Tensión máx y relación Deformación/Deformación máx.....	24
4.2.	Deformación Transversal.....	26

4.2.1.	Muestra Patrón	26
4.2.2.	Confinamiento en 1/3 de la altura total en la zona central	27
4.2.3.	Confinamiento en 2/3 de la altura total en la zona central	28
4.2.4.	Confinamiento en la totalidad de la altura	29
4.3.	Relación Tensión/Tensión máxima – Variación Volumétrica.....	31
4.3.1.	Muestra patrón.....	31
4.3.2.	Confinamiento en 1/3 de la altura en la zona central	32
4.3.3.	Confinamiento en 2/3 de la altura en la zona central	33
4.3.4.	Confinamiento en la totalidad de la altura del miembro.....	34
4.4.	Tensiones transmitidas a la matriz Fibra – Epoxi	35
CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		37
5.1.	Conclusiones.....	37
5.2.	Recomendaciones	40
BIBLIOGRAFÍA.....		41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Columnas reforzadas con CFRP.....	2
Figura 2.1 Relación esfuerzo a resistencia y deformación para concreto de distintas resistencias	7
Figura 2.2 Energía absorbida por un elemento.....	8
Figura 2.3 Deformaciones medidas en un espécimen de concreto cargado uniaxialmente a compresión	9
Figura 2.4 Distribución de esfuerzos en un tubo de pared delgada. Sección transversal y longitudinal	10
Figura 3.1 Probetas cilíndricas de concreto con exo – refuerzo.....	14
Figura 3.2 Vaciado de probetas.....	15
Figura 3.3 Colocación fibra de carbono (CFRP)	16
Figura 4.1 Gráfico Tensión – Deformación Axial promedio de probetas patrón.....	18
Figura 4.2 Gráfico Tensión – Deformación Axial probeta patrón y con 1/3 altura confinada.....	19
Figura 4.3 Probetas ensayadas con 1/3 de altura confinada.....	20
Figura 4.4 Gráfico Tensión – Deformación Axial probeta con 1/3 y 2/3 altura confinada.....	21
Figura 4.5 Probetas ensayadas con 2/3 de altura confinada.....	21
Figura 4.6 Gráfico Tensión – Deformación Axial probeta con 1/3, 2/3 y totalidad de altura confinada.....	23
Figura 4.7 Probetas ensayadas con la totalidad de la altura confinada	24
Figura 4.8 Relación Tensión/Tensión máxima y relación Deformación/Deformación máxima	25
Figura 4.9 Gráfico Tensión - Deformación Transversal probeta patrón	27

Figura 4.10 Gráfico Tensión – Deformación Transversal probeta patrón y con 1/3 altura confinada.....	28
Figura 4.11 Gráfico Tensión – Deformación Transversal probeta con 1/3 y 2/3 altura confinada.....	29
Figura 4.12 Gráfico Tensión – Deformación Transversal probeta con 1/3, 2/3 y totalidad altura confinada.....	30
Figura 4.13 Acercamiento Gráfico Tensión – Deformación Transversal.....	30
Figura 4.14 Gráfico Tensión/Tensión Máxima - Deformaciones medidas en probeta patrón	32
Figura 4.15 Gráfico Tensión/Tensión Máxima - Deformaciones medidas en probeta patrón y con 1/3 de altura confinada	33
Figura 4.16 Gráfico Tensión/Tensión Máxima - Deformaciones medidas en probeta patrón y con 2/3 de altura confinada	34
Figura 4.17 Gráfico Tensión/Tensión Máxima - Deformaciones medidas en probeta con totalidad de altura confinada.....	35
Figura 4.18 Gráfico Tensión en matriz Fibra – Epoxi al momento de la falla - Porción de altura del miembro confinada	36
Figura 5.1 Gráfico Resistencia - Porción de altura confinada en zona central.....	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Propiedades agregado grueso.....	13
Tabla 3.2 Propiedades agregado fino	13
Tabla 3.3 Tipo de cemento utilizado	13
Tabla 3.4 Dosificación utilizada.....	13
Tabla 3.5 Propiedades de resina aplicada.....	13
Tabla 3.6 Propiedades de fibra de carbono usada para el estudio.....	14
Tabla 3.7 Nomenclatura guía de confinamiento	14
Tabla 4.1 Resumen variación en propiedades respecto al patrón	20
Tabla 4.2 Resumen de variación en propiedades mecánicas respecto a 1/3	22
Tabla 4.3 Resumen de variación en propiedades mecánicas respecto a 1/3	24
Tabla 4.4 Resumen de variación en propiedades mecánicas respecto a 2/3	24

CAPITULO I

PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

En Venezuela la mayoría de las estructuras se construyen en concreto reforzado con capacidad resistente que depende principalmente de las propiedades de sus componentes y condiciones de ejecución. Ahora bien, en la actualidad los diferentes controles que son realizados en el proceso de producción de estos componentes, pero en especial el cemento, presentan deficiencias generando como consecuencia una alta variabilidad en las resistencias alcanzadas con marcada tendencia a la baja; esto hace que la confiabilidad estructural pudiera verse comprometida y en consecuencia debiera ser necesario reforzar la edificación.

Dentro de este contexto, han sido desarrollados diferentes métodos para reforzar las estructuras que presentan deficiencias como aumento de la sección mediante mortero de alta resistencia, confinamiento mediante pletinas de acero e incluso mediante adherencia de materiales poliméricos. Por otra parte, en los últimos años el avance en la tecnología de los materiales compuestos ha permitido la producción de fibra de carbono de forma industrial, que unido al desarrollo químico de resinas epoxi que aportan dureza y rigidez a la fibra, permiten la implementación de refuerzos en fibra de carbono en edificaciones con debilidades estructurales.

En lo que se refiere al refuerzo con manto de fibra de carbono, la documentación no especifica qué proporción del miembro deberá ser confinada para alcanzar la capacidad deseada; por lo que suelen diseñarse a sección plena como muestra la figura siguiente



Figura 1.1 Columnas reforzadas con CFRP

Fuente: <http://www.fortressfoundationrepair.com/>

Por lo expuesto, sería interesante poder responder a las preguntas

- ¿Se presentará diferencia sustancial en la resistencia de los miembros cortos de concreto al variar la altura de confinamiento con malla de fibra de carbono?
- ¿Cuál será la proporción más eficiente de dicho refuerzo?

1.2. Antecedentes

• Fernández, E. (1978).

Título: *Reparación de estructuras de concreto armado con resina epóxica.* Trabajo especial de grado. Universidad Católica Andrés Bello. Caracas, Venezuela.

Tutor: Ing. Álvaro Espinoza.

Mediante el estudio de las propiedades físicas de la resina Epoxi, se analizaron los problemas en estructuras de concreto reforzado que podrían ser reparados, obteniéndose que las propiedades mecánicas de dichas resinas son superiores a las del concreto.

• **Durán C. (2008).**

Título: *Refuerzo con bandas de fibra de carbono (CFRP) en columnas cortas de concreto reforzado.* Trabajo especial de grado. Universidad Nacional Autónoma de México.

Tutor: Dr. Meli, Roberto.

Se estudió el refuerzo con bandas de fibra de carbono (CFRP) en columnas cortas de concreto reforzado sometida a ciclos de carga, obteniéndose un ligero aumento en la capacidad de carga.

• **Rodríguez J., Quintero S. (2008).**

Título: *Evaluación del comportamiento de vigas de concreto reforzadas con fibras de carbono, ensayadas a flexión a edad temprana de su colocación.* Trabajo especial de grado. Universidad Católica Andrés Bello. Caracas, Venezuela.

Tutor: Ing. MSc. Guillermo Bonilla.

La investigación se enfocó en el estudio del comportamiento de vigas de concreto estructural reforzadas con pletinas de fibra de carbono, estas fueron adheridas a las caras externas, siendo ensayadas posteriormente a flexión. Las pletinas incrementaron la capacidad a flexión de las vigas y los desplazamientos, concluyéndose además que al someter los miembros a grandes esfuerzos a edades tempranas se producían desprendimientos parciales.

• **Das Neves D., Frade A. (2013).**

Título: *Evaluación del comportamiento de vigas de concreto armado reforzadas con fibra de carbono, ensayadas a corte.* Trabajo especial de grado. Universidad Católica Andrés Bello. Caracas, Venezuela.

Tutor: Ing. MSc. Guillermo Bonilla.

La investigación analizó el comportamiento de vigas de concreto llevadas a la falla por corte y reparadas con pletinas de fibra de carbono en diferentes patrones, para luego ser ensayadas nuevamente. Los resultados obtenidos arrojaron que el número de tiras de

fibra de carbono que se coloquen no tiene afecta la resistencia que aportan estas, siempre que se cubran las fallas.

1.3. Objetivo de la investigación

1.3.1. Objetivo General

Estudiar incidencia de la altura de confinamiento con manto de fibra de carbono en las propiedades mecánicas de miembros cortos de concreto estructural sometidos a tensiones de compresión.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar la incidencia de la altura de confinamiento sobre el comportamiento Tensión – Deformación Axial de miembros cortos de concreto, reforzados mediante manto de fibra de carbono.
- Evaluar la incidencia de la altura de confinamiento sobre comportamiento Tensión – Deformación Transversal de miembros cortos de concreto, reforzados mediante manto de fibra de carbono.
- Determinar la incidencia de la altura de confinamiento sobre la relación Tensión/Tensión Max – Variación Volumétrica de miembros cortos de concreto, reforzados mediante manto de fibra de carbono.
- Establecer la relación entre ganancia en resistencia a compresión y altura de confinamiento, de miembros cortos de concreto reforzados mediante manto de fibra de carbono.
- Establecer la relación entre tensión anular generada en el manto de fibra de carbono en función de la altura de confinamiento en miembros cortos de concreto sometidos a esfuerzos de compresión.

1.4. Alcance y Limitaciones

El estudio fue desarrollado con base a veinte (20) probetas cortas de sección constante, de los cuales quince (15) fueron reforzadas con mantos de fibra de carbono a razón de distintas alturas. La variación de la altura se encuentra relacionada con la longitud del miembro corto de concreto, confinando a partir de la zona central 1/3, 2/3 y la totalidad de la altura del miembro.

La altura de los miembros se mantuvo constante a 30 cm, al igual que el diámetro en 15 cm.

Los miembros fueron reforzados con mantos unidireccionales de fibra de carbono Sika Wrap 300 C NW adherida con resina epoxi Sikadur – 301. La dirección de la fibra principal del manto se colocó perpendicular al sentido de aplicación de tensiones de compresión.

Los miembros de concreto estructural (resistencia $\geq 210 \text{ kgf/cm}^2$), fueron elaborados sin acero de refuerzo y posteriormente ensayados hasta la falla luego de cumplir 28 días de curado del concreto y 7 días más para el curado de la adherencia de la fibra.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Fundamentos teóricos

2.1.1. Polímeros reforzados con fibra de carbono (Carbon Fiber Reinforced Polymer)

Los compuestos CFRP consisten en una interfaz de Fibra – Epoxi, la cual es adherida a la superficie del miembro estructural. Las características de altas resistencias y bajo peso permiten la implementación a modo de exo – refuerzo en los casos donde las solicitaciones de la estructura superan las capacidades de los miembros. (Bank, 2006)

La orientación del manto permite absorber fuerzas de diferente índole, longitudinalmente permite reforzar vigas para soportar flexión, en columnas se colocan en la dirección perpendicular al eje axial para ejercer confinamiento, en forma de anillo a modo de estribos.

2.1.2. Concreto

El concreto es un material con amplia gama de posibilidades lo que permite explicar la expansión del uso en elementos estructurales de edificaciones como: columnas, vigas, losas, muros, pantallas, represas, acueductos, canales, túneles, entre otros.

Las principales características de mayor importancia son: grado de fluidez en estado fresco y el grado de endurecimiento o resistencia que es capaz de adquirir el concreto; la resistencia se puede determinar mediante ensayos mecánicos a compresión sobre probetas normalizadas, pudiendo medirse además la deformación bajo aplicación de cargas. (Porrero, Ramos, Grases, & Velazco, 2008)

2.1.3. Comportamiento del concreto a tensión de compresión

Las curvas típica Tensión – Deformación obtenidas al ensayar cilindros de concreto a compresión uniaxial son casi lineales hasta aproximadamente 50% de la resistencia a compresión, la deformación en la tensión máxima es cercana a 0.002, luego de este punto se hacen visibles en el concreto grietas paralelas a la dirección de la carga, sin embargo

el perfil de la curva antes de la tensión máxima depende de la resistencia del concreto.
(Park & Paulay, 1983)

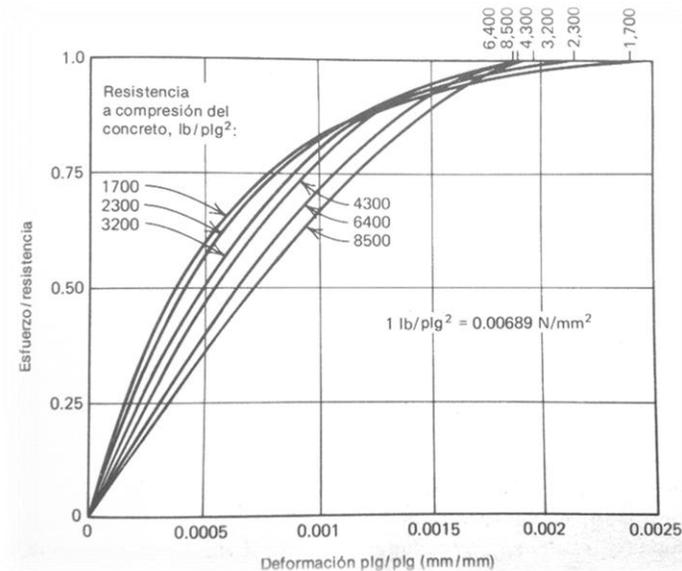


Figura 2.1 Relación esfuerzo a resistencia y deformación para concreto de distintas resistencias

Fuente: Park&Paulay, *Estructuras de Concreto Reforzado*, 1983

2.1.4. Energía absorbida por un elemento

Todo cuerpo sometido a una deformación tenderá a absorber la energía recibida por lo que la energía absorbida es una medida de valorar la capacidad de deformación del material. “El área bajo una gráfica Esfuerzo – Deformación da la medida de la capacidad del material para resistir una carga de energía hasta que sobrevenga su ruptura; dicha capacidad recibe el nombre de *tenacidad*. Cuanto mayor sea el área total bajo la gráfica Esfuerzo – Deformación, tanto mayor será la tenacidad del material” (Popov, 1983, pág. 149), en este sentido, la tenacidad es una magnitud referida a la Energía absorbida.

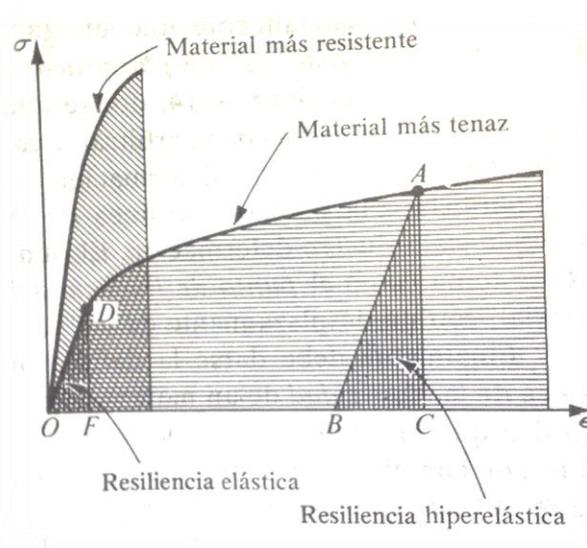


Figura 2.2 Energía absorbida por un elemento

Fuente: Popov, *Introducción a la Mecánica de Sólidos*, 1983

2.1.5. Relación de Poisson

“Otro tipo de deformación elástica es la variación de las dimensiones transversales que acompaña a toda tensión o compresión axial... Poisson comprobó que la relación entre las deformaciones unitarias en estas direcciones es constante, por debajo del límite de proporcionalidad.” (Singer & Pytel, 1994, pág. 38)

$$\nu = -\frac{\epsilon_y}{\epsilon_x} = -\frac{\epsilon_z}{\epsilon_x}$$

Ecuación 2-1

La relación entre la deformación transversal y la deformación axial, oscila de 0.15 a 0.20 en el concreto (Park & Paulay, 1983)

Mediante la relación de Poisson es posible obtener las tensiones en función de las deformaciones para un sistema biaxial, obteniéndose la ecuación 2-2:

$$\sigma_x = \frac{(\epsilon_x + \nu\epsilon_y)E}{1 - \nu^2}$$

Ecuación 2-2

2.1.6. Variación Volumétrica

A medida que una probeta sometida a una carga axial va deformándose en la dirección paralela a la carga, mientras en el sentido transversal también se presenta deformación que determinan un aumento en la sección, esto hace que un miembro sometido a compresión tenga variación en su volumen siguiendo un patrón de comportamiento que depende de sus propiedades. “A esfuerzos elevados de compresión las deformaciones transversales aumentan rápidamente, debido al agrietamiento interno paralelo a la dirección de carga dentro del espécimen... El volumen del espécimen disminuye durante casi todo el rango de carga; sin embargo, a esfuerzos próximos a la resistencia a compresión del espécimen, las deformaciones transversales son tan elevadas que el volumen del espécimen comienza a aumentar, lo que indica el agotamiento de resistencia” (Park & Paulay, 1983, pág. 19)

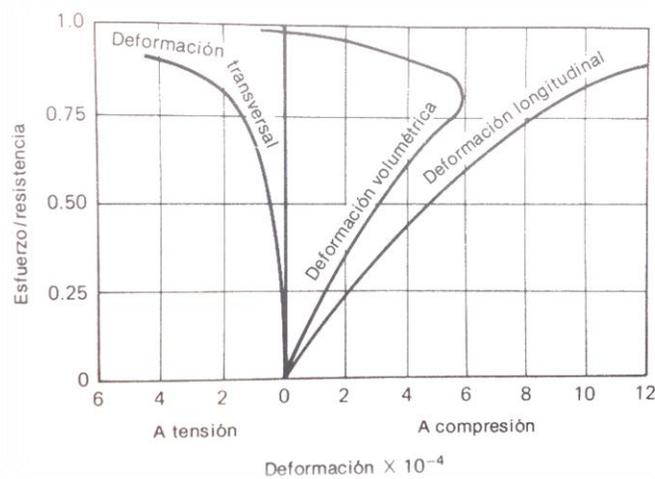


Figura 2.3 Deformaciones medidas en un espécimen de concreto cargado uniaxialmente a compresión

Fuente: Park & Paulay, *Estructuras de Concreto Reforzado*, 1983.

2.1.7. Cilindros de Pared delgada

Las paredes de un depósito cilíndrico que esté sometido a tensiones internas soportan fuerzas de tracción en su sección longitudinal y transversal, el diagrama de cuerpo libre que se indica en la figura 2.4 y cumple con la ecuación 2-3. (Singer & Pytel, 1994) puede servir de referencia para determinar las tensiones del sistema manto de fibra de carbono y epoxi adherido a la superficie de concreto.

“Evaluar propiedades mecánicas de miembros cortos de concreto estructural sometidos a tensiones de compresión al estar envueltos en mantos de fibra de carbono”

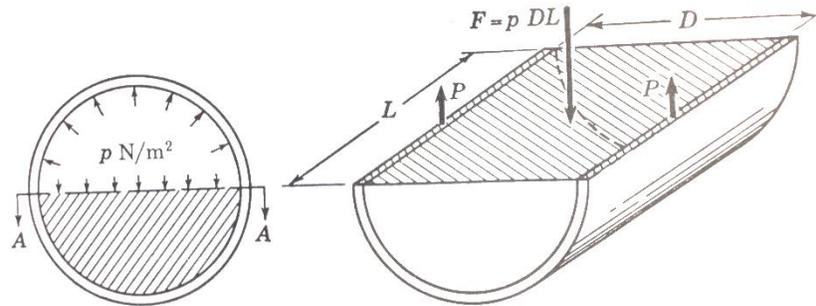


Figura 2.4 Distribución de esfuerzos en un tubo de pared delgada. Sección transversal y longitudinal

Fuente: Singer & Pytel, Resistencia de Materiales, 1994

$$\sigma_t = \frac{pDL}{2tL} = \frac{pD}{2t}$$

Ecuación 2-3

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Naturaleza y tipo de investigación

La investigación fue de carácter experimental, exploratorio y descriptivo, en la cual fueron ensayados miembros cortos de concreto sometidos a tensiones de compresión, a fin de evaluar las propiedades mecánicas en función de la altura confinada con manto de fibra de carbono.

3.2. Población

La población estuvo conformada por un total de veinte (20) cilindros normalizados de dimensiones constantes, 15 cm de diámetro x 30 cm de altura.

3.3. Muestra

La muestra estuvo conformada por los veinte (20) cilindros definidos en la población, de los cuales cinco (5) cilindros cumplieron la función de ser testigos patrones de las propiedades mecánicas.

3.4. Recolección de datos

Los datos experimentales reportados mediante el uso de potenciómetros digitales, fueron captados de forma audiovisual y electrónica, para luego ser manejados en hojas de cálculo.

3.5. Equipos de aplicación de carga

Prensa universal Baldwin capacidad 100 toneladas del Laboratorio de Tecnología Del Concreto UCAB.

3.6. Accesorios empleados

- Potenciómetro lineal, marca REO Transducers.
- Equipo de ensayo para la medición de módulo de elasticidad del Laboratorio de Tecnología Del Concreto UCAB, diseñado por Ing. Fernando Faria.

3.7. Variables estudiadas y unidades de trabajo

3.7.1. Variables dependientes

- Carga límite elástico: kgf
- Carga última: kgf
- Deformación axial a límite elástico: adimensional
- Deformación axial a carga última: adimensional
- Deformación radial a carga última: adimensional

3.7.2. Variables independientes

- Resistencia a compresión del concreto: kgf/cm²
- Altura de confinamiento: cm
- Velocidad aplicación de carga: kgf/s

3.7.3. Factores constantes

- Área transversal: 176 cm²
- Altura cilindro: 30 cm
- Diámetro cilindro 15 cm

3.7.4. Parámetros constantes

- Periodo de curado concreto: 28 días
- Lapso de adherencia Fibra – Epoxi: 7 días

3.8. Materiales utilizados. Propiedades y características.

Dosificaciones

3.8.1. Concreto

Tabla 3.1 Propiedades agregado grueso

Agregado Grueso	
Tamaño máximo	3/4"
Densidad específica (kg/m ³)	2.65
Densidad específica saturado con superficie seca (kg/m ³)	2.68
Absorción %	1.11
Humedad %	0

Tabla 3.2 Propiedades agregado fino

Agregado Fino	
Pasante Tamiz Arena Natural de Río	#4
Densidad específica (kg/m ³)	2.60
Densidad específica saturado con superficie seca (kg/m ³)	2.65
Absorción %	1.78
Humedad %	0.00

Tabla 3.3 Tipo de cemento utilizado

Cemento
Cemento Portland tipo CPCA1 Compuesto, distribuido por Corporación Socialista de Cemento S.A.

Tabla 3.4 Dosificación utilizada

Cemento (kg)	Agregado fino (kg)	Agregado grueso (kg)	Agua (lts)
471.57	1197.79	933.71	287.66

Las cantidades se encuentran expresadas por m³ de concreto

3.8.2. Resina Epoxi

Tabla 3.5 Propiedades de resina aplicada

Marca	Tipo	Módulo elasticidad media (kgf/cm²)	Resistencia a tracción (kgf/cm²)
Sika	Sikadur - 301	20000	520

3.8.3. Fibra de Carbono Tipo Manto

Tabla 3.6 Propiedades de fibra de carbono usada para el estudio

Marca	Tipo	Espesor diseño tejido (mm)	Módulo elasticidad media (Kgf/cm ²)*	Resistencia a la tracción media (kgf/cm ²)**
SkaWrap	300 CN W	0.171	2396000	42000

* Valores en la dirección longitudinal de la fibra (de acuerdo a EN 2561)

** Los valores indicados se refieren a la impregnación con resina Skadur -330

3.9. Diseño experimental

Para analizar los aportes, en términos de propiedades mecánicas, de mantos de fibra de carbono en miembros cortos de concreto estructural, fue establecido un diseño experimental donde se pudo evaluar el comportamiento mecánico mediante gráficos Tensión – Deformación obtenidos luego de aplicar carga monotónica creciente.

Para la fase inicial se recolectó la data de resistencias teóricas de los miembros cortos, mediante el ensayo a compresión de probetas cilíndricas normalizadas, la tabla 3.7 presenta la nomenclatura utilizada para definir la altura de confinamiento de las probetas.

Tabla 3.7 Nomenclatura guía de confinamiento

Cilindro \ Confinamiento	0 (sin fibra)	1 (1/3 altura confinada)	2 (2/3 altura confinada)	3 (totalidad altura confinada)
F	F-0	F-1	F-2	F-3



Figura 3.1 Probetas cilíndricas de concreto con exo – refuerzo

Fuente: Elaboración Propia

“Evaluar propiedades mecánicas de miembros cortos de concreto estructural sometidos a tensiones de compresión al estar envueltos en mantos de fibra de carbono”

3.10. Fase de ejecución



3.10.1. Documentación

En esta fase se investigaron diversos estudios, en los cuales se analizó el aporte de la fibra de carbono utilizada en diversos elementos estructurales sometidos a solicitaciones según su función dentro de la edificación, esto a fin de asegurar un enfoque original.

De igual forma se profundizaron conocimientos referentes a variables en estudio, así como a los fundamentos teóricos necesarios para analizar el comportamiento de la fibra.

3.10.2. Elaboración de muestras

Se utilizaron los moldes de probetas cilíndricas del Laboratorio de Tecnología Del Concreto UCAB, estas solo requirieron recubrimiento interno con aceite.

Fue ejecutada una familia de miembros por día. Previamente se preparaban y pesaban los materiales necesarios, de esta forma se aseguraba un procedimiento sistemático.

Para el curado de los miembros fueron sumergidas las probetas en cámaras de agua durante 28 días para asegurar condiciones de humedad y temperaturas óptimas.



Figura 3.2 Vaciado de probetas

Fuente: Elaboración Propia

“Evaluar propiedades mecánicas de miembros cortos de concreto estructural sometidos a tensiones de compresión al estar envueltos en mantos de fibra de carbono”

3.10.3. Colocación de manto CFRP

Las distintas zonas en las cuales se colocaría la fibra de carbono fueron preparadas desbastando la superficie mediante esmeril con disco de diamante, siendo limpiadas posteriormente con un paño húmedo para eliminar las partículas que pudieran quedar impregnadas en la superficie. Este trabajo fue realizado para asegurar la adherencia del manto a la superficie, evitando la presencia de burbujas de aire que debiliten el desempeño de la fibra.

Las fracciones de manto utilizadas como encamisado en los miembros, fueron cortadas en las diferentes dimensiones, procurando un solape de 10 cm adicional al perímetro de la probeta cilíndrica.

Luego de preparar las superficies y cortar el manto, se procedió a la colocación del mismo agregando con una brocha la primera capa de resina epoxi a lo largo del perímetro de la probeta donde va a ser adherida la fibra, una vez cubierta la superficie se adhiere la fibra, utilizando la brocha esta es impregnada nuevamente con una segunda capa de resina epoxi. En la zona donde se produce el solape se agrega mayor cantidad de resina para aumentar la adherencia Fibra – Fibra, por último se extiende la fibra con un rodillo pequeño para evitar la aparición de burbujas.



Figura 3.3 Colocación fibra de carbono (CFRP)

Fuente: Elaboración Propia

3.10.4. Propiedades Mecánicas - Ejecución de ensayos

En esta etapa fue necesario garantizar la verticalidad de los miembros y el paralelismo de las caras transversales para asegurar compresión axial pura, por lo cual, previamente se alisaron y pulieron las caras de todos los cilindros.

Durante el ensayo a compresión se mantuvo la velocidad de aplicación de carga a lo largo de toda la ejecución, esto a fin de no afectar el comportamiento de la gráfica Tensión – Deformación. Adicionalmente se garantizó la verticalidad de los dispositivos de medición de deformación axial, para asegurar un movimiento idéntico al acortamiento de los miembros. Para el registro de las deformaciones transversales se aseguró la horizontalidad del medidor y la perpendicularidad respecto a la cara del miembro, mediante el uso de escuadras. Las lecturas se registraron en la zona central de los miembros.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados presentados están referidos al promedio de los datos obtenidos en las cinco (5) probetas ensayadas por cada configuración de refuerzo.

4.1. Comportamiento Tensión – Deformación Axial

4.1.1. Muestra Patrón (inconfiada)

La figura 4.1. muestra la probeta patrón, es decir aquella que no recibió refuerzo, en ella se aprecia un comportamiento típico de probetas cilíndricas sometidas a tensiones de compresión, con un incremento en la deformación axial a medida que aumenta la carga aplicada, donde la curva se comporta de forma casi lineal, siendo la pendiente de la recta tangente a esta curva el módulo de elasticidad del concreto; el punto de tensión máxima soportada corresponde a 2‰ en deformación, valor asociado a la aparición de grietas paralelas a la dirección de la aplicación de carga. En el caso del patrón la resistencia media se determinó en 320 kgf/cm², el módulo de elasticidad E resultó 169.660 Kgf /cm².

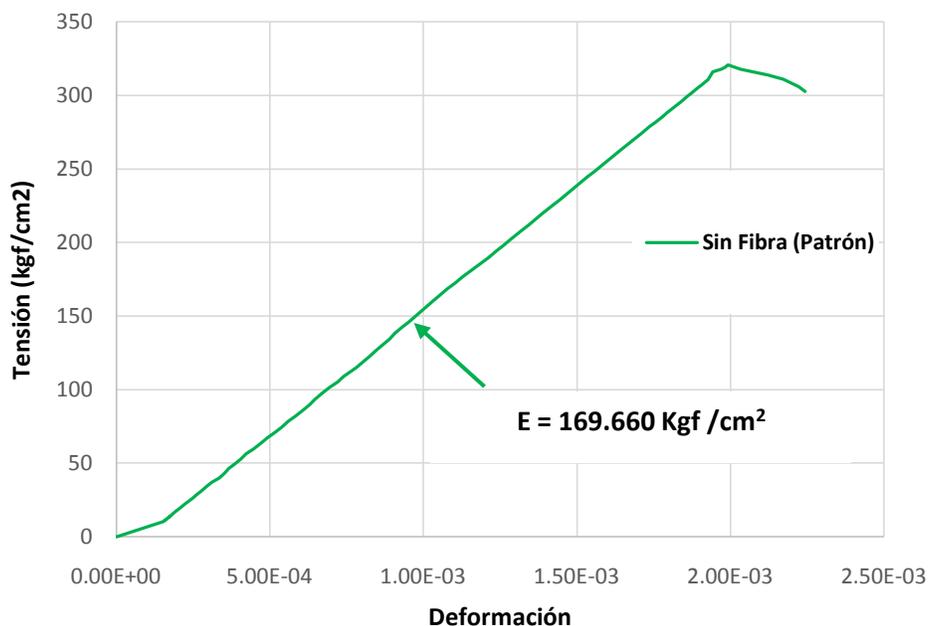


Figura 4.1 Gráfico Tensión – Deformación Axial promedio de probetas patrón

El área bajo la curva de un gráfico Tensión – Deformación corresponde a la energía absorbida durante el proceso de aplicación de carga, en el patrón dicha energía correspondió a 821.27 Kgf.cm

4.1.2. Confinamiento en 1/3 de la altura en zona central

Al observar la figura 4.2 miembro con 1/3 de su altura confinada respecto al patrón, se aprecia que no existe diferencia en el comportamiento, registrándose un valor de resistencia a compresión de 320.45 kgf/cm²; lo que indica que el aporte de la interfaz Fibra – Epoxi en términos de tensiones representa solamente 0.14% de ganancia en resistencia, siendo por tanto despreciable. Esto se debe que 66.7% del volumen de concreto en la probeta con un 1/3 central de altura confinada puede deformarse libremente, por lo cual existe una zona vulnerable donde se genera la falla; igual sucede al comparar los módulos de elasticidad, donde el correspondiente a 1/3 de fibra es 1.8% mayor al del miembro patrón, diferencia despreciable.

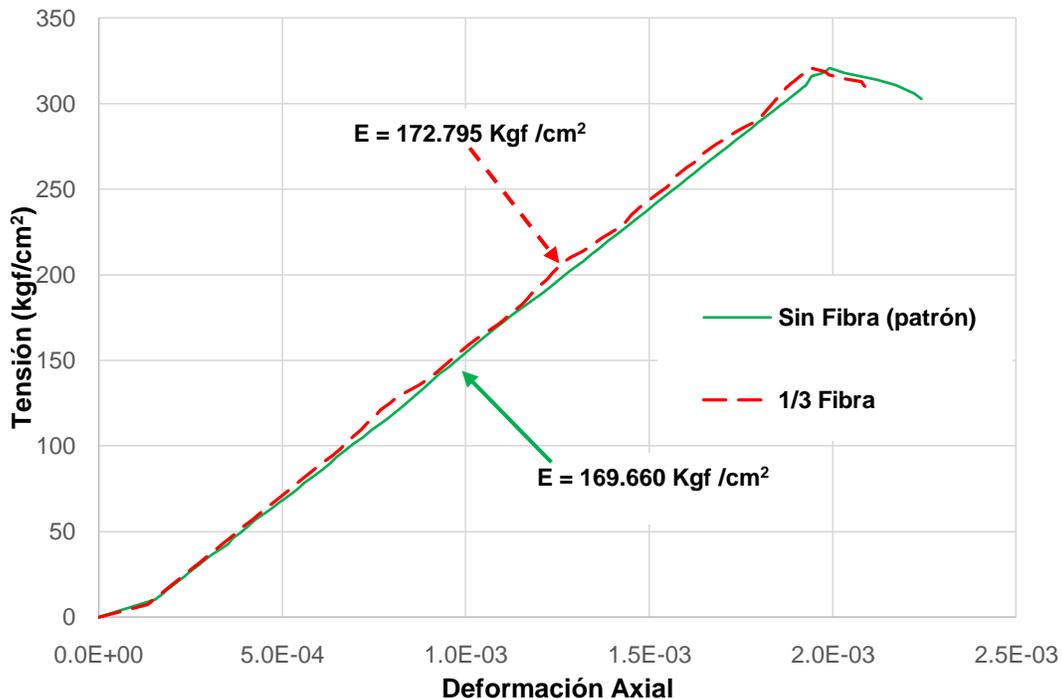


Figura 4.2 Gráfico Tensión – Deformación Axial probeta patrón y con 1/3 altura confinada

En ambos casos una vez alcanzada la capacidad máxima de las probetas se produjo la falla, comportamiento típico de materiales frágiles, demostrando la ausencia de

ductilidad y poco aporte en este sentido de la matriz Fibra – Epoxi. Se observa de igual forma como la deformación en el punto de tensión máxima es 1.98‰ valor muy cercano al 2.0‰, confirmando la poca variación en el comportamiento con 1/3 de la altura confinada respecto al patrón.



Figura 4.3 Probetas ensayadas con 1/3 de altura confinada

Fuente: Elaboración Propia

La energía absorbida se presentó en su totalidad dentro del rango elástico, no existiendo aportes de la interfaz, presentándose una variación de 2% siendo despreciable

Tabla 4.1 Resumen variación en propiedades respecto al patrón

Altura confinada	Ganancia respecto Patrón			
	Resistencia	Módulo Elasticidad	Ductilidad	Energía
1/3	0.14%	1.80%	0.00%	2.00%

4.1.3. Confinamiento en 2/3 de la altura total en la zona central

En la figura 4.4 se observa ganancia en términos de capacidad resistente del miembro con 2/3 de la altura confinada, siendo la tensión máxima 12% mayor a la del miembro con 1/3 de la altura confinada. Al comparar los módulos de elasticidad de ambos casos, se evidencia un incremento de 9.26% en el valor del mismo para el miembro confinado en 2/3 de su altura, esta variación en el módulo se genera al restringirse las deformaciones transversales, por lo cual la deformación axial se produce a un ritmo menor cambiando la pendiente de la curva; dicho incremento en el módulo de elasticidad

incide directamente en la capacidad resistente del miembro con 2/3 de altura provocando el aumento en la tensión máxima soportada.

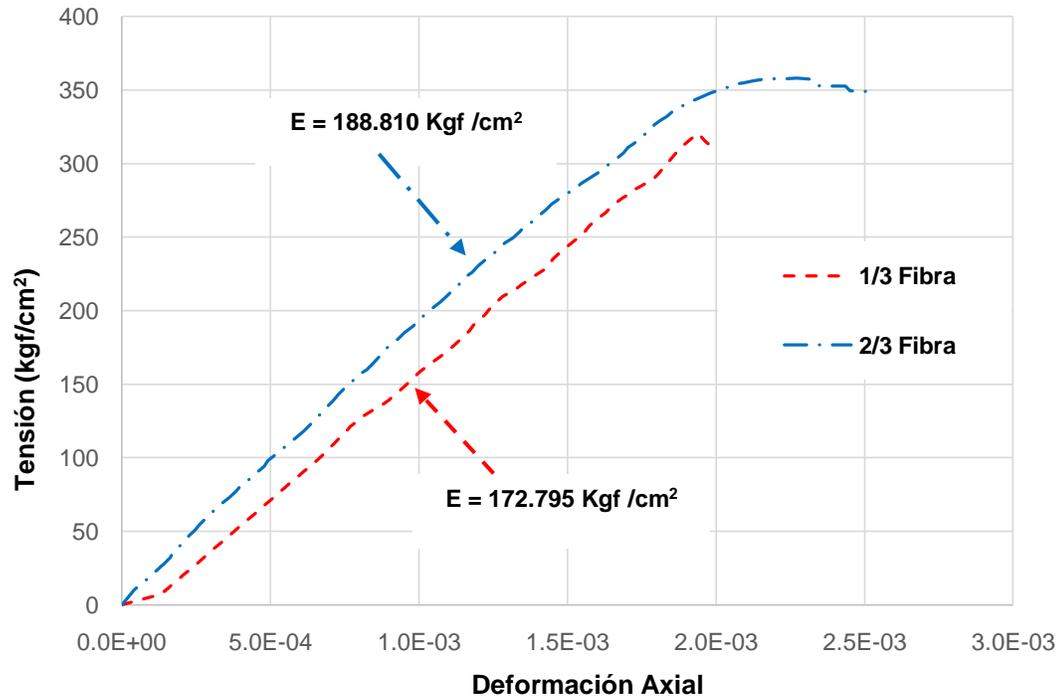


Figura 4.4 Gráfico Tensión – Deformación Axial probeta con 1/3 y 2/3 altura confinada



Figura 4.5 Probetas ensayadas con 2/3 de altura confinada

Fuente: Elaboración Propia

De igual forma se aprecia un incremento en la ductilidad plástica del miembro con 2/3 de altura confinada, aumentando la capacidad de deformación en 25% antes de la rotura, permitiendo la absorción de energía adicional a la del rango elástico, siendo 70.8%

“Evaluar propiedades mecánicas de miembros cortos de concreto estructural sometidos a tensiones de compresión al estar envueltos en mantos de fibra de carbono”

mayor a la energía de la probeta con 1/3 de la altura confinada. La energía adicional en el intervalo no elástico es absorbida en su totalidad por la matriz Fibra – Epoxi pues ya se ha superado el punto de deformación máxima del concreto (2‰), siendo evidente que este alcanzó su resistencia y falló, la lectura de deformación aumenta y la tensión se mantiene constante pues el concreto está siendo confinado por la interfaz Fibra – Epoxi, responsable además de soportar dichas deformaciones. La falla ocurre al agrietarse el concreto expuesto y generar un plano de falla que se transmite a su vez a la matriz Fibra – Epoxi, liberando instantáneamente la energía acumulada hasta este momento.

Tabla 4.2 Resumen de variación en propiedades mecánicas respecto a 1/3

Altura confinada	Ganancia respecto 1/3			
	Resistencia	Módulo Elasticidad	Ductilidad	Energía
2/3	12.00%	9.26%	25.00%	70.80%

4.1.4. Confinamiento en la totalidad de la altura

La figura 4.6 que muestra la Tensión – Deformación Axial de los miembros con 1/3, 2/3 y la totalidad de la altura confinada permite comparar la resistencia a compresión del miembro confinado en la totalidad de su altura respecto al de 1/3, siendo apreciado un incremento de 51.5% en la capacidad, mientras la ganancia en resistencia respecto al miembro con 2/3 corresponde a 35.5%. Se evidencia diferencia en la pendiente del tramo elástico de cada curva que define el módulo de elasticidad del miembro con la totalidad de altura confinada con relación a las probetas con 1/3 y 2/3, correspondiendo el incremento a 36.7% y 25% respectivamente.

Dentro de este contexto, la ganancia en términos de resistencia viene dada por la presión de confinamiento por parte de la matriz Fibra – Epoxi al acercarse el concreto a la tensión máxima y aumentar con esto las deformaciones axiales y transversales; a bajas tensiones las deformaciones transversales son restringidas por lo cual disminuye la magnitud de la deformación axial y con esto parte del agrietamiento interno, influyendo directamente sobre el módulo de elasticidad; al no existir concreto expuesto no hay zonas débiles en la masa de la probeta donde pudiera iniciarse el proceso de agrietamiento por falla en la interface Mortero - Agregado que la falla no ocurrirá hasta alcanzar la tensión de resistencia de la matriz Fibra – Epoxi.

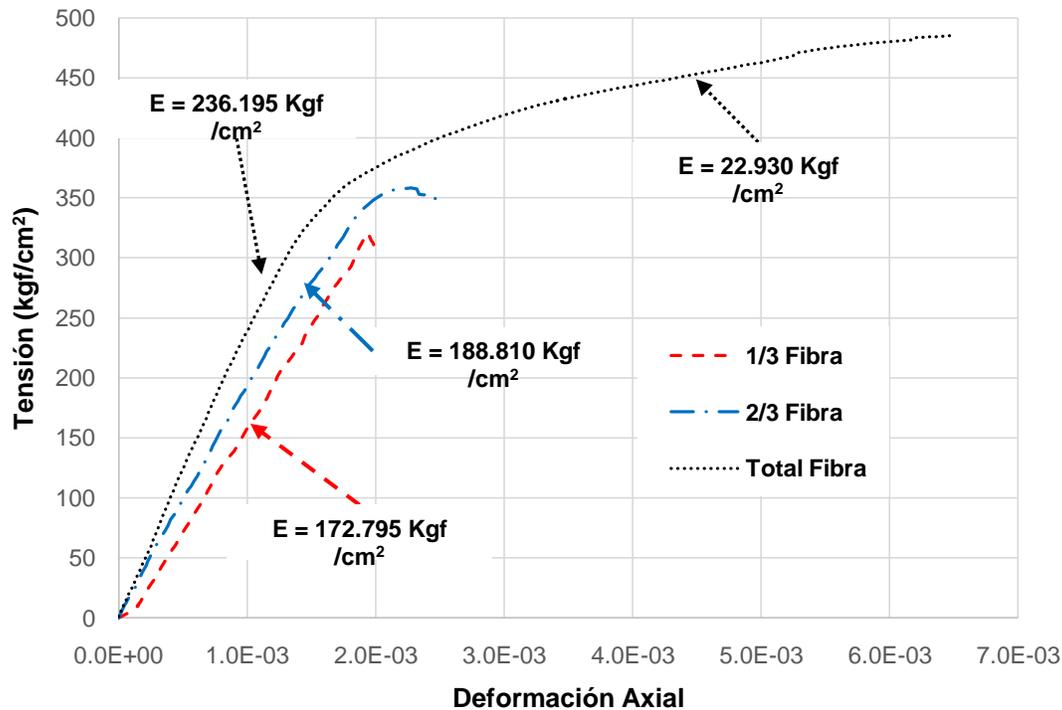


Figura 4.6 Gráfico Tensión – Deformación Axial probeta con 1/3, 2/3 y totalidad de altura confinada

Por otra parte, se observa en el miembro con la totalidad de la altura confinada que a partir de 1.9% de la deformación axial desarrolla cambio en el comportamiento aumentando la ductilidad, producto del aporte por parte de la interfaz Fibra – Epoxi, permitiendo al miembro deformarse hasta 240% más respecto al caso de 1/3 de la altura confinada, 190% más respecto al caso de 2/3 de altura confinada y 242% más respecto al punto donde se generó el cambio de comportamiento, estas deformaciones pueden ser alcanzadas por la probeta gracias al soporte conferido por la interfaz, controlando el reacomodo de las partículas que constituyen la masa de concreto a la vez que lo mantienen confinado evitando la falla aun después de alcanzar la deformación máxima admitida. Dicha ductilidad genera un aumento de la energía absorbida en el intervalo no elástico, incrementando 640.6% y 333.7% de energía respecto a 1/3 y 2/3 de altura confinada.

Con relación al cambio de comportamiento presente en la probeta con la totalidad de la altura confinada, se aprecia que el módulo de elasticidad secante en el intervalo no

elástico es controlado por el módulo de elasticidad de la resina epoxi, cuya magnitud es 20000 kgf/cm². Al alcanzar su capacidad máxima, la matriz Fibra – Epoxi disipa la energía absorbida de manera abrupta.

Tabla 4.3 Resumen de variación en propiedades mecánicas respecto a 1/3

Altura confinada	Ganancia respecto 1/3			
	Resistencia	Módulo Elasticidad	Ductilidad	Energía
1	51.50%	36.70%	240.00%	640.60%

Tabla 4.4 Resumen de variación en propiedades mecánicas respecto a 2/3

Altura confinada	Ganancia respecto 2/3			
	Resistencia	Módulo Elasticidad	Ductilidad	Energía
1	35.50%	25.00%	190.00%	333.70%



Figura 4.7 Probetas ensayadas con la totalidad de la altura confinada

Fuente: Elaboración Propia

4.1.5. Relación Tensión/Tensión máx y relación Deformación/Deformación máx

El Gráfico 4.8 presenta los valores relativos de tensiones con base a la tensión máxima de cada familia ensayada, al igual que las deformaciones relativas a las máximas. Se aclara que, el análisis se desarrolla con base a la tensión donde se aprecia el cambio

de comportamiento en el miembro con la totalidad de la altura confinada que corresponde al 70%.

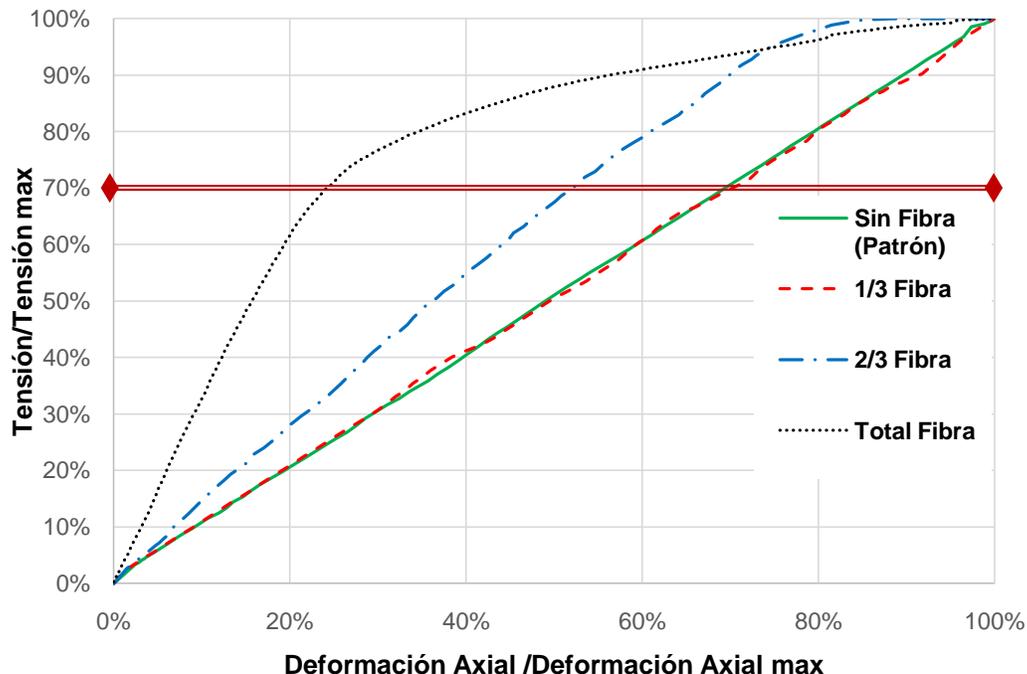


Figura 4.8 Relación Tensión/Tensión máxima y relación Deformación/Deformación máxima

Se observa que, confinar 1/3 de la altura total en la zona central de miembros cortos de concreto no incide en el comportamiento en el eje axial de estos, manteniendo la relación de incremento Tensión – Deformación similar al miembro patrón, donde al 70% de resistencia se llega al 70% de la deformación en ambos casos, indicando que al alcanzar la resistencia llega a la deformación máxima, generando una falla frágil. El bajo aporte por parte de la matriz Fibra – Epoxi en esta configuración se debe principalmente al volumen de concreto expuesto, siendo por tanto el concreto sin reforzar el material predominante y quien define el comportamiento mecánico, de ahí que no existan variaciones apreciables entre el miembro patrón y el de 1/3 de fibra.

Ahora bien en el caso de las probetas con 2/3 de la altura total confinada en la zona central, se alcanza 52% de la deformación máxima al 70% de la resistencia, evidenciándose la capacidad de la fibra de disminuir las deformaciones axiales al restringir parte de las deformaciones transversales. Adicionalmente se observa como la ductilidad aportada por la matriz fibra – epoxi permite alcanzar la tensión máxima al 90%

de la deformación axial, aportando un intervalo extra de 10% en ductilidad, antes de la falla.

Por otra parte, la ductilidad para el caso de altura total confinada logra un incremento de 24.1%, lo cual indica que la mayor capacidad de deformación se presenta en el rango no elástico y es controlado por la interfaz fibra – epoxi.

Dentro de este contexto, cabe destacar que, como ha sido dicho, al instante de alcanzar la capacidad máxima se presenta una falla frágil debido a la liberación de toda la energía que ha sido absorbida durante la aplicación de la carga.

4.2. Deformación Transversal

Para la representación del comportamiento Tensión – Deformación Transversal se consideró el ensanchamiento de la probeta como deformación negativa, siendo producto de tensiones de tracción, contraria al acortamiento producido por las tensiones de compresión en el eje axial.

4.2.1. Muestra Patrón

La figura 4.9 muestra el comportamiento medido en la muestras patrón, se aprecia como al instante de iniciar la aplicación de tensiones se produce una deformación en el plano transversal, generada por el acortamiento de la probeta, hay un cambio en la pendiente inicial de la curva debida al reajuste de las partículas en las caras en contacto con la máquina de prueba.

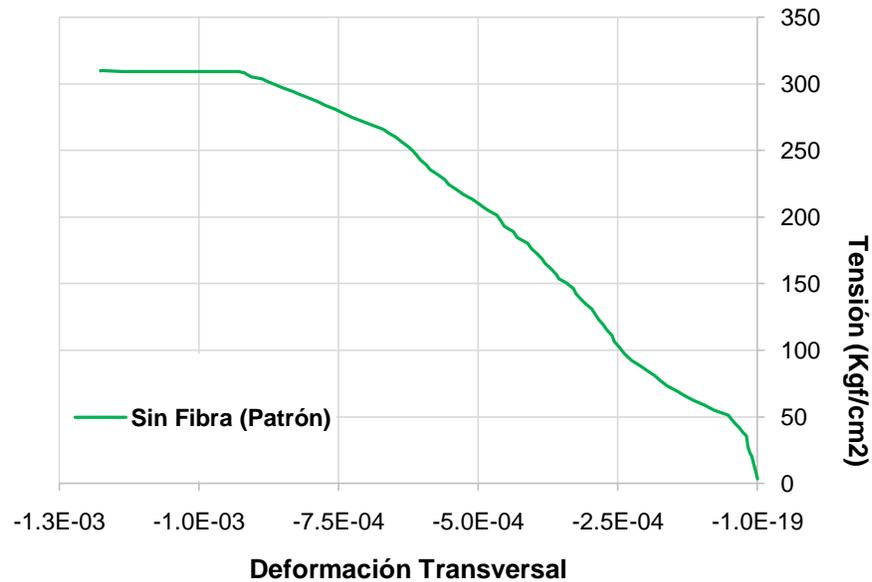


Figura 4.9 Gráfico Tensión - Deformación Transversal probeta patrón

Una vez alcanzada la tensión máxima del miembro las deformaciones incrementan en mayor magnitud, esto debido al agrietamiento de la interface Mortero – Agregado de las probetas durante los ensayos.

4.2.2. Confinamiento en 1/3 de la altura total en la zona central

En el gráfico 4.10 se observa como el comportamiento de 1/3 de confinamiento es similar al patrón, sin embargo, al instante de iniciar con la aplicación de tensiones no se generan lecturas de deformación dado que las mediciones fueron realizadas en la zona con fibra y esta limita dichas deformaciones; luego a mayores tensiones y al producirse un mayor reajuste de las partículas, las deformaciones comienzan a crecer hasta alcanzar el comportamiento del patrón, se observa que al existir aun 66.7% de concreto sin confinar este controla el comportamiento mecánico. De esta forma existe un aumento de 5,1%, en las deformaciones transversales aportado por la interfaz Fibra – Epoxi, siendo despreciable.

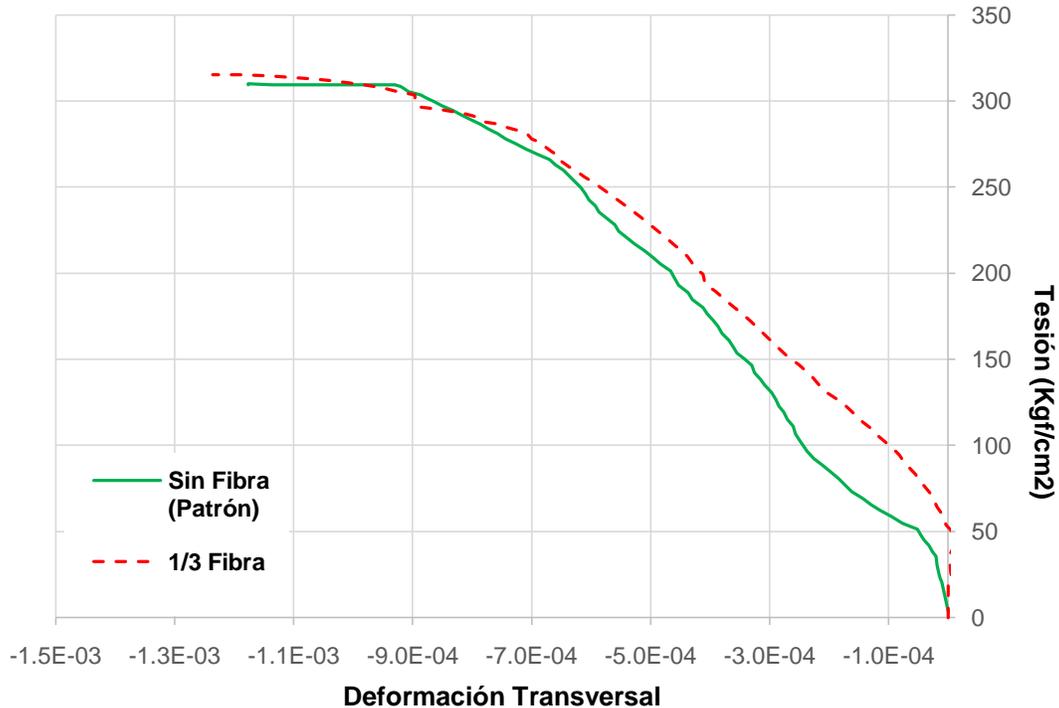


Figura 4.10 Gráfico Tensión – Deformación Transversal probeta patrón y con 1/3 altura confinada

4.2.3. Confinamiento en 2/3 de la altura total en la zona central

Al analizar la figura 4.11 se aprecia como el miembro con 2/3 de la fibra inicia deformaciones a menor nivel de cargas que al confinar con 1/3, esto se debe que al contar con menor zona expuesta, se facilita la trasmisión de las tensiones a la matriz Fibra – Epoxi. El aumento de deformación máxima fue 40.3% con respecto al registrado en la probeta de 1/3; además resalta el hecho que 42.5% de la deformación total del miembro con 2/3 de fibra ocurre una vez alcanzada la tensión máxima, lo que representa un mayor ensanchamiento en el plano transversal y mayores variaciones de volumen antes de producirse la falla.

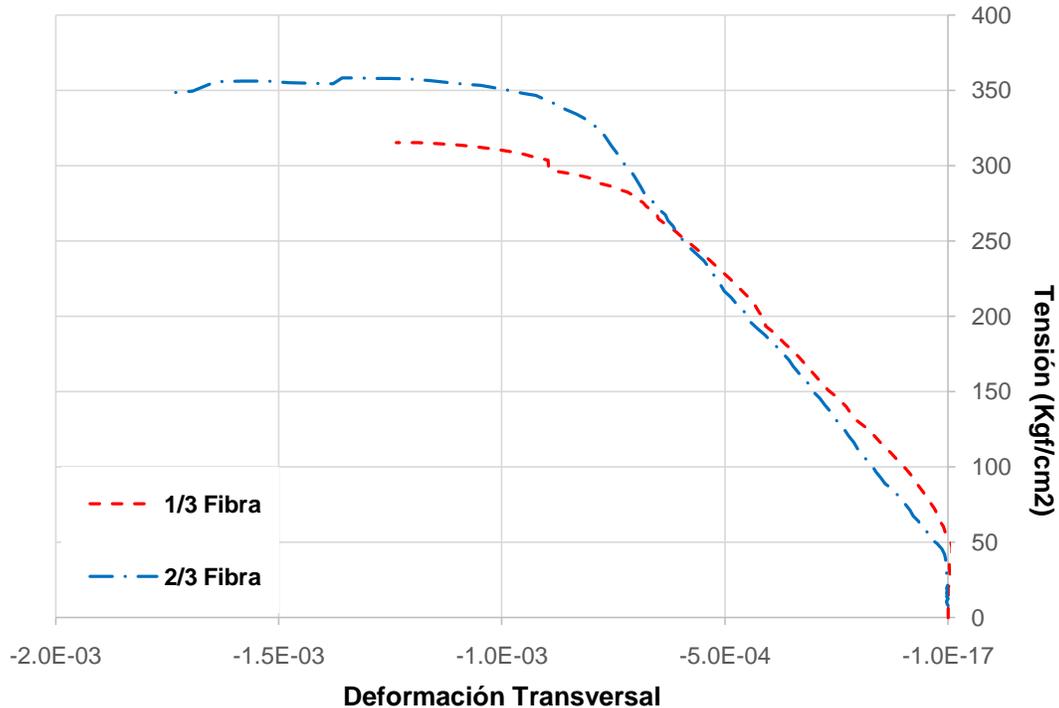


Figura 4.11 Gráfico Tensión – Deformación Transversal probeta con 1/3 y 2/3 altura confinada

4.2.4. Confinamiento en la totalidad de la altura

Al evaluar en la figura 4.12 el comportamiento de la probeta confinada en su totalidad la deformación máxima fue 393.1% mayor a la registrada por la configuración de 2/3 y 591.9% mayor a la obtenida por el miembro con 1/3 de altura confinada, esto responde a la capacidad de soportar deformaciones de la matriz Fibra – Epoxi.

La propiedad que permite este aumento de deformación es la ductilidad de la fibra, ya que en el gráfico 4.12 se aprecia como las deformaciones en las tensiones cercanas a la máxima son mayores y que estas comienzan a crecer luego de alcanzada una deformación del -2%, donde las probetas con menor altura confinada llegaban a la falla por tener zonas del concreto expuestas que permitían la fractura completa de la probeta.

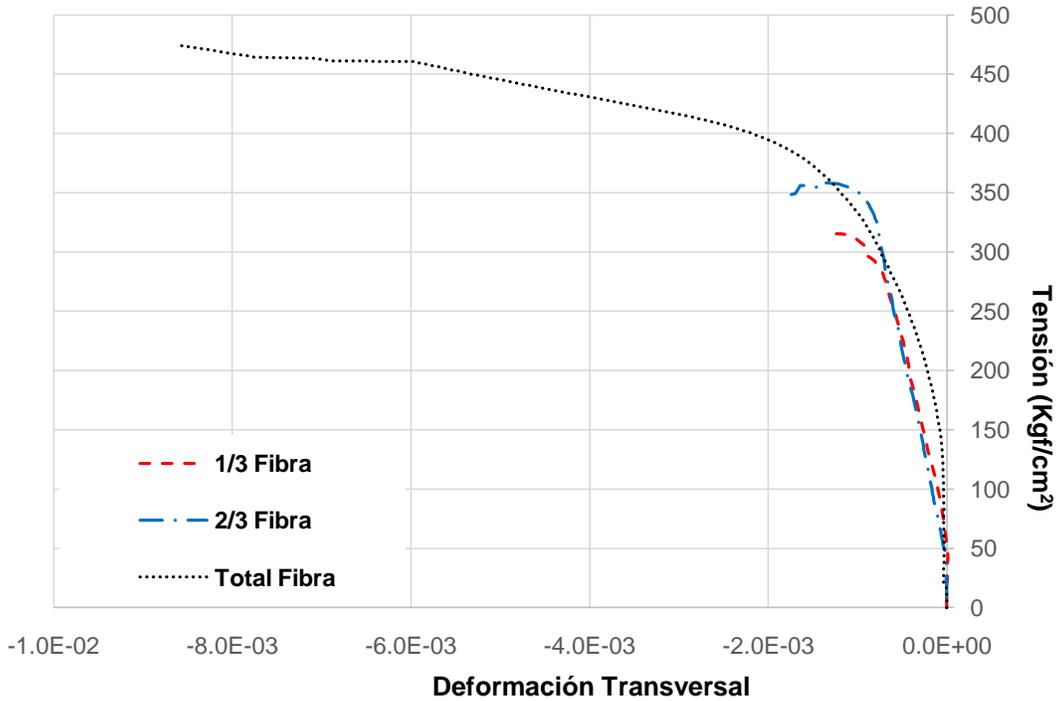


Figura 4.12 Gráfico Tensión – Deformación Transversal probeta con 1/3, 2/3 y totalidad altura confinada

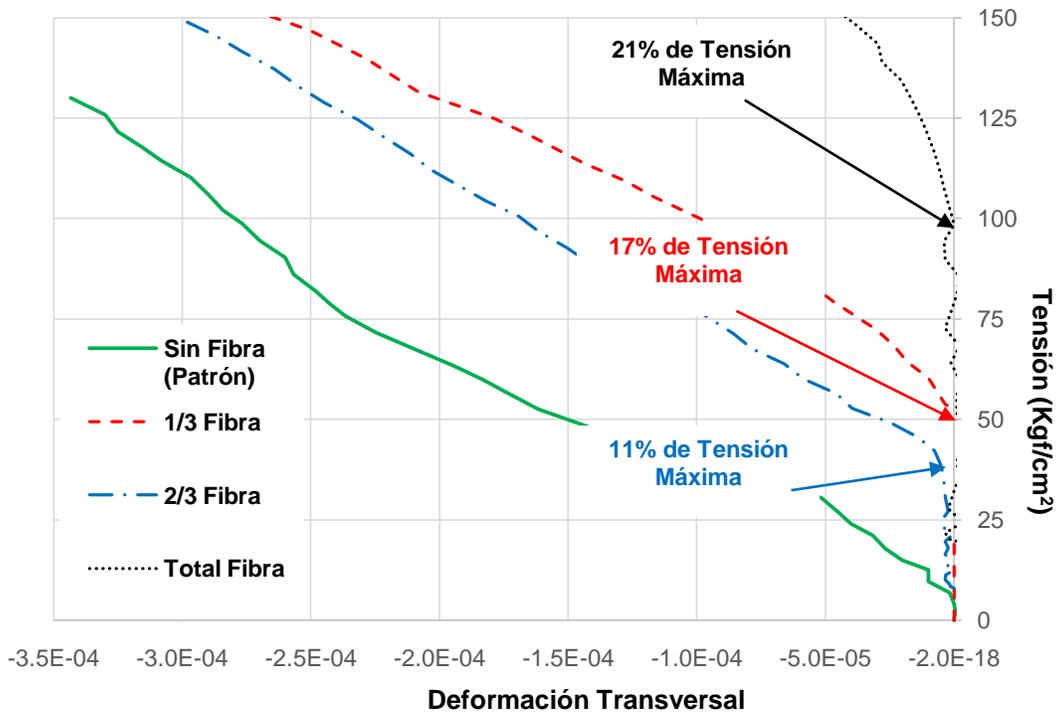


Figura 4.13 Acercamiento Gráfico Tensión – Deformación Transversal

“Evaluar propiedades mecánicas de miembros cortos de concreto estructural sometidos a tensiones de compresión al estar envueltos en mantos de fibra de carbono”

En la figura 4.13 que comprende la zona inicial entre tensiones que van desde 0 kgf/cm² a 150 kgf/cm², a fin de analizar el comportamiento de las deformaciones en las tensiones más bajas. Se observa que, el miembro con 1/3 de la altura confinada inicia las deformaciones una vez alcanzados el 17% de su tensión máxima, indicando que la fibra permite restringir las deformaciones en la zona donde está colocada, mientras que en la zona expuesta se desarrollan las deformaciones desde que se inicia la aplicación de carga.

En el caso de la probeta con 2/3 se aprecia como las deformaciones inician al alcanzar 11% de la tensión máxima, siendo menor a la tensión en donde inician las deformaciones con 1/3, esto se debe a que la zona expuesta sin fibra es menor y las tensiones se transmiten con mayor rapidez a la zona confinada con la matriz Fibra – Epoxi. Dado que el miembro que está confinado en la totalidad de su altura no presenta zona expuesta como los anteriores, la misma matriz comienza a trabajar desde el inicio de la aplicación de las tensiones, restringiendo las deformaciones generadas por el reajuste interno de las partículas en el concreto hasta alcanzar 21% de su resistencia, luego estas deformaciones se comienzan a apreciar al ser transmitidas a la interfaz Fibra – Epoxi.

4.3. Relación Tensión/Tensión máxima – Variación Volumétrica

4.3.1. Muestra patrón

Al analizar la figura 4.14 se observa el comportamiento típico de probetas de concreto sometidas a compresión unidireccional sometidas a cargas de compresión monotónicas, la variación volumétrica dependiente de las deformaciones axiales y transversales indica como el reacomodo interno de las partículas genera cambios en la geometría del miembro.

El punto donde se genera el cambio de dirección en la curva de variación volumétrica se produce a tensiones cercanas a la máxima, indicando la propagación generalizada de grietas; a partir de ese momento las deformaciones transversales son mayores en magnitud a la deformación axial en consecuencia el ensanchamiento en el plano transversal domina la ecuación de variación volumétrica, provocando esto un aumento en el volumen de la probeta.

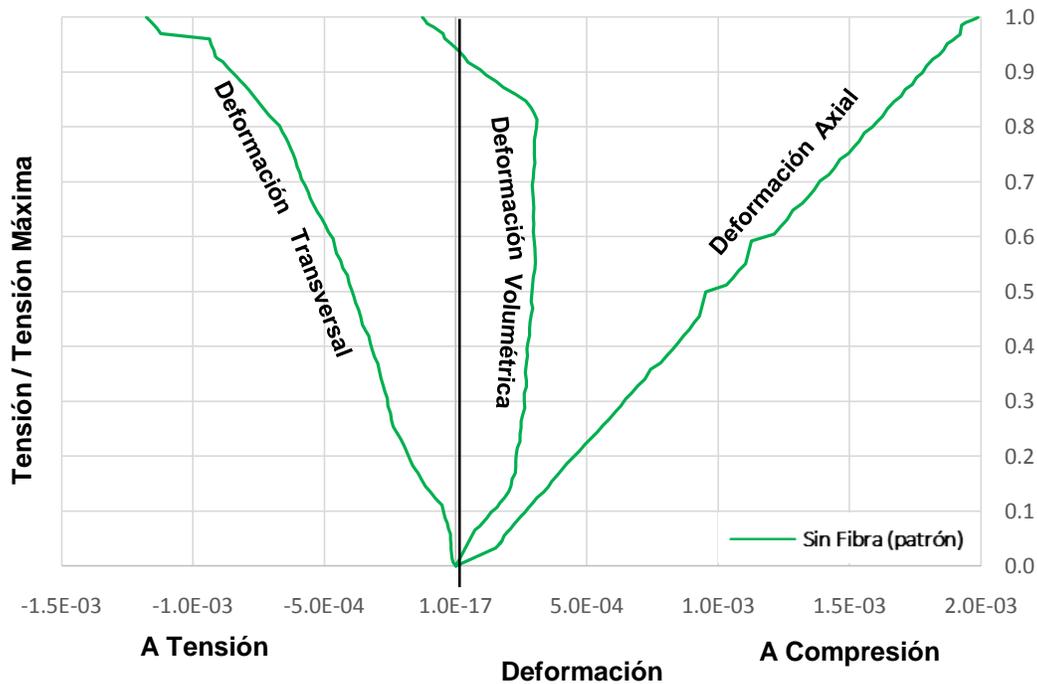


Figura 4.14 Gráfico Tensión/Tensión Máxima - Deformaciones medidas en probeta patrón

4.3.2. Confinamiento en 1/3 de la altura en la zona central

La figura 4.15 al analizar la probeta con 1/3 de fibra el comportamiento inicialmente difiere del patrón en la deformación volumétrica, esto debido que a bajas tensiones las deformaciones transversales aún no se presentan en la zona confinada, dándole mayor importancia a las deformaciones axiales, luego inician las deformaciones transversales y el miembro se comporta de forma similar a la probeta patrón. El punto de cambio en el sentido de la curva se encuentra a tensiones relativas mayores en la probeta confinada en 1/3 de la altura, esto se debe principalmente al confinamiento lateral proporcionado por la matriz Fibra – Epoxi, la cual restringe la propagación de grietas hasta alcanzar tensiones más cercanas a la máxima.

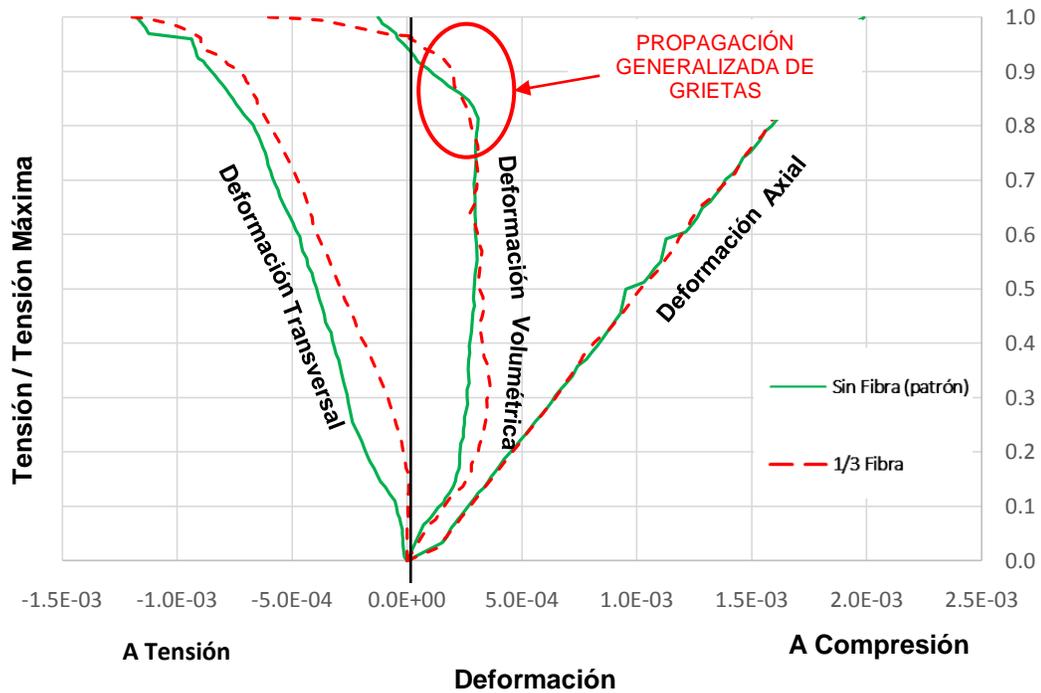


Figura 4.15 Gráfico Tensión/Tensión Máxima - Deformaciones medidas en probeta patrón y con 1/3 de altura confinada

4.3.3. Confinamiento en 2/3 de la altura en la zona central

En la figura 4.16 es comparada la probeta con 2/3 de altura confinada con el patrón, a bajas tensiones la curva de variación volumétrica coincide con la curva correspondiente a la deformación axial, este comportamiento se produce dado que las deformaciones transversales son restringidas en este intervalo; luego se aprecia como el comportamiento es similar al patrón pues las tensiones son transmitidas con mayor rapidez a la fibra, fomentando la deformación transversal de la misma, a mayores tensiones se evidencia un cambio en el comportamiento, esto debido principalmente a la deformación axial generada en la zona expuesta la cual tiende a ser mayor a la deformación transversal; finalmente se produce la falla.

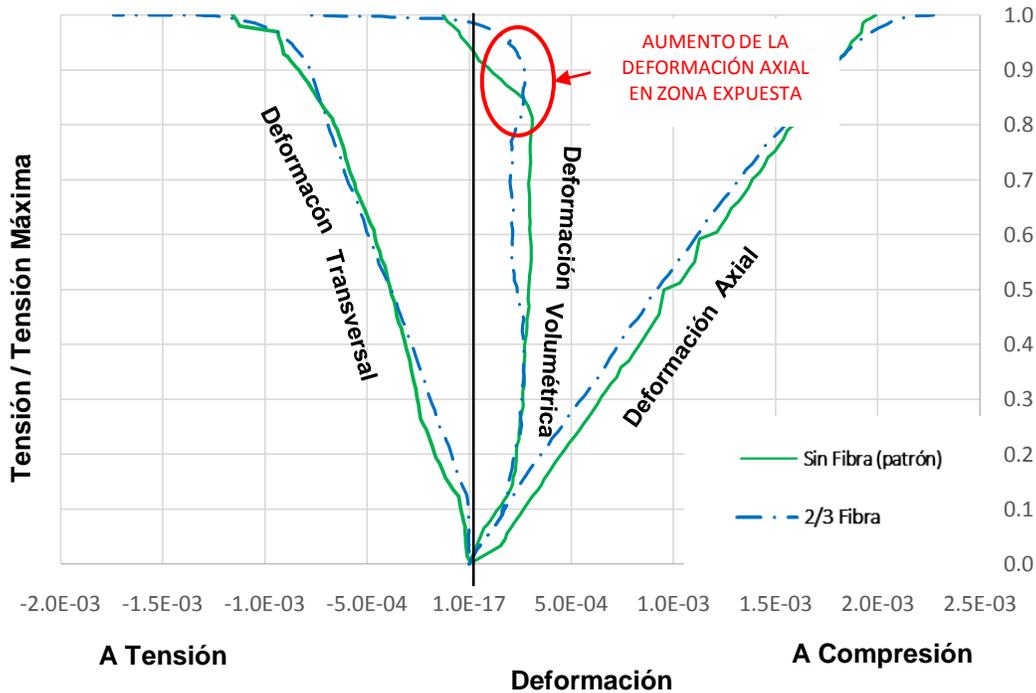


Figura 4.16 Gráfico Tensión/Tensión Máxima - Deformaciones medidas en probeta patrón y con 2/3 de altura confinada

4.3.4. Confinamiento en la totalidad de la altura del miembro

Analizando la figura 4.17 que corresponde al promedio de las probetas con la totalidad de la altura confinada se observa que el comportamiento, en términos de variación volumétrica, es similar al planteado en las bases teóricas; el punto de cambio en el sentido se presenta a tensiones relativas menores, señalando la degradación y completa propagación de grietas en el concreto por lo cual las tensiones posteriores son soportadas por la matriz Fibra – Epoxi a la vez que mantiene sujeto al concreto mediante la tensión de confinamiento.

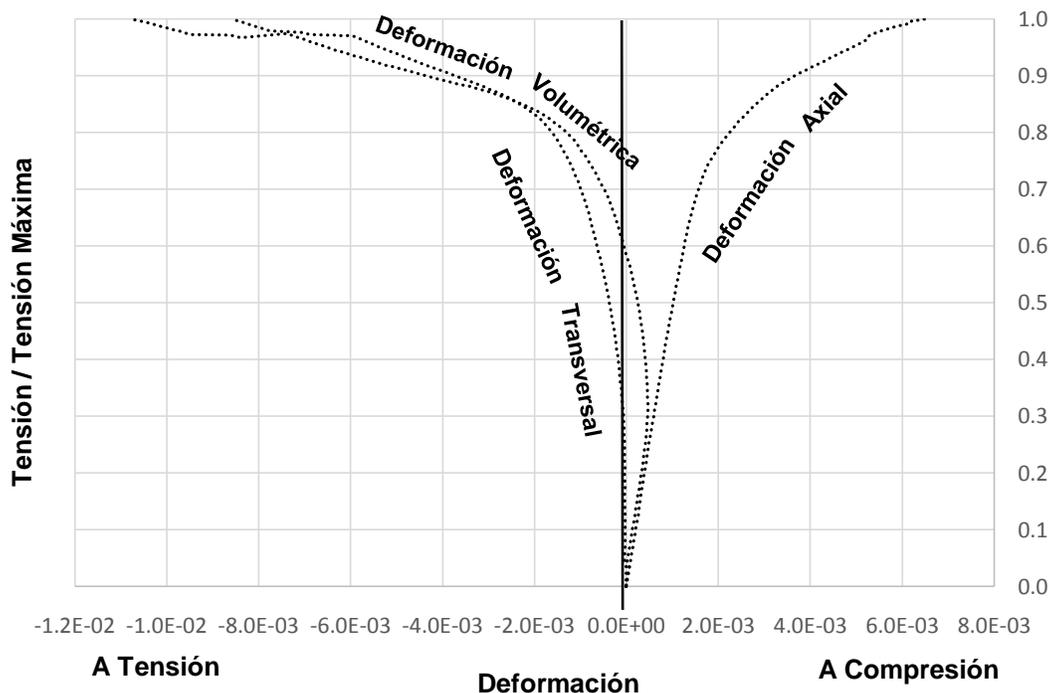


Figura 4.17 Gráfico Tensión/Tensión Máxima - Deformaciones medidas en probeta con totalidad de altura confinada

4.4. Tensiones transmitidas a la matriz Fibra – Epoxi

Para la determinación de las tensiones soportadas por la interfaz Fibra – Epoxi se hallaron las tensiones transversales generadas a lo largo del ensayo por las deformaciones de la probeta utilizando la ecuación 2-2, para ello se utilizó una relación de Poisson igual a 0.20 siendo valor típicamente aceptado para el concreto, estas tensiones fueron a su vez transmitidas a la interface Fibra – Epoxi considerada como un tubo de pared delgada en la zona de confinamiento aplicado para ello la ecuación 2-3 presentada en el capítulo II.

La figura 4.18 muestra las tensiones presentes en la fibra al momento de alcanzar la tensión máxima de compresión axial, en ella se puede apreciar además el valor de tensión máxima admitida por la interfaz Fibra – Epoxi igual a 42000 kgf/cm²; es evidente que en los casos de 1/3 y 2/3 de la altura confinada las tensiones generadas en la Fibra – Epoxi se encuentran por debajo de la tensión máxima admisible, caso contrario al miembro con la totalidad de la altura confinada.

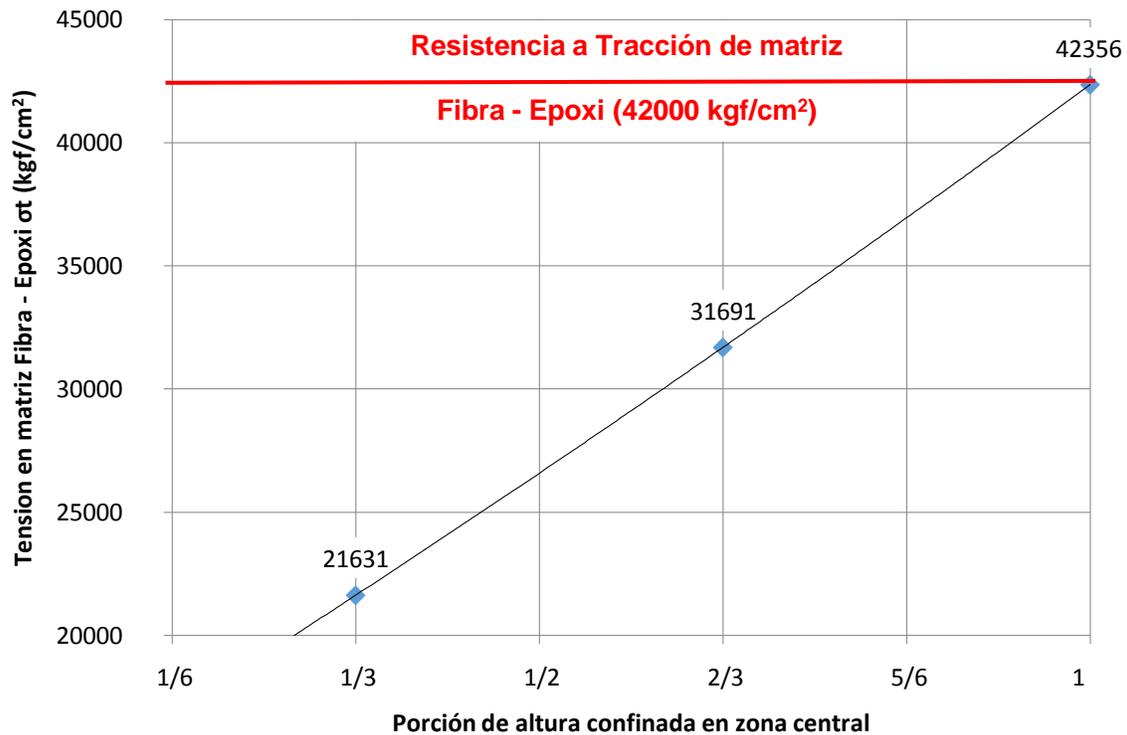


Figura 4.18 Gráfico Tensión en matriz Fibra – Epoxi al momento de la falla - Porción de altura del miembro confinada

Se observa como en los casos donde existe masa de concreto expuesta las tensiones alcanzadas en la matriz Fibra – Epoxi están por debajo de la máxima admisible, esto indica que la falla del miembro viene controlada por el concreto expuesto y la falla en la interface Mortero – Agregado dado que no permite alcanzar la tensión máxima que puede soportar la matriz Fibra – Epoxi. En el caso donde se confina la totalidad de la masa de concreto la falla del miembro ocurre al momento de alcanzar la tensión máxima admisible por la matriz Fibra – Epoxi luego de esto dicha matriz falla, no pudiendo seguir aplicando la presión de confinamiento y liberando la energía absorbida de forma abrupta provocando una falla explosiva.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Los estudios realizados permitieron definir la incidencia de la altura de confinamiento con mantos de fibra de carbono sobre el comportamiento mecánico de los miembros cortos de concreto estructural sujeto a tensiones de compresión axial.

El miembro patrón cumplió la función de ser base comparativa al presentar un comportamiento acorde a los fundamentos presentados en el marco teórico, permitiendo además conocer las capacidades resistentes del concreto que conforma las probetas que recibieron refuerzo.

Confinar $1/3$ de la altura de un miembro corto de concreto no incide en la resistencia, dado que el incremento que representa es 0.14% con un módulo elástico mayor al patrón en un 1.8%; el resto de las propiedades sufren modificaciones despreciable, en el caso de la ductilidad y la energía absorbida que aumentan en 0.0% y 2.0% respectivamente. Las deformaciones transversales obtienen un 5.1% de incremento a la carga última, lo cual permite concluir, que reforzar con $1/3$ de la altura total con fibra de carbono no genera ningún aporte sustancial para un refuerzo requerido. En este sentido dicho miembro pasó a cumplir la función de patrón de comparación en los análisis siguientes ya que no presentó diferencia con el miembro no confinado.

En el caso de $2/3$ de altura confinada en un miembro corto de concreto la ganancia en términos de resistencia fue 12.0%, con un incremento de 9.26% en el módulo elástico respecto al miembro de $1/3$, así como incremento adicional en la ductilidad de 25.0% y en la energía absorbida 70.8%. Se evidencian los aportes de la matriz Fibra – Epoxi adherida y la influencia que esta tiene sobre el comportamiento mecánico, permitiendo además la presencia de un intervalo no elástico en el que se admiten deformaciones axiales por encima de los valores límites del concreto; en relación a las deformaciones transversales estas inician a tensiones relativas menores respecto a la probeta con $1/3$ de la altura confinada, esto debido a la temprana transmisión de tensiones a la fibra, no obstante la ductilidad proporcionada por la matriz Fibra – Epoxi permite al miembro soportar

deformaciones de mayor magnitud, incrementándolas 40.3% respecto a 1/3 de altura confinada. A pesar que se produce ganancia en tensión máxima la existencia de zonas vulnerables en la masa de concreto limitan el aporte ofrecido por la interfaz Fibra – Epoxi, en estas zonas puede iniciarse el agrietamiento por fallas entre el mortero y los agregados.

Para el miembro con la totalidad de la altura confinada la ganancia de tensión máxima cumplió con lo esperado al presentar un incremento de 51.5% con respecto al miembro de 1/3, adicionalmente el comportamiento mecánico dentro del rango elástico resultó similar al de una probeta sin refuerzo en manto, variando las magnitudes de los parámetros; la apreciación de 36.7% en la variación del módulo elástico y la variación en el comportamiento de la curva Tensión – Deformación en el intervalo no elástico, que determina un módulo secante afectado en mayor medida por la matriz Fibra - Epoxi definen un material altamente dúctil y peligrosamente frágil, al alcanzar 240.0% más de ductilidad con respecto al miembro de 1/3 y 640.6% más de energía absorbida. Este confinamiento presenta restricciones iniciales en las deformaciones transversales hasta alcanzar 21% de las tensiones con respecto a la máxima, luego se comienzan a evidencia las deformaciones las cuales incrementan 591.9%.

A continuación la figura 5.1 presenta un gráfico que plantea resistencias obtenidas, partiendo de un concreto con resistencia R_{cc} 320 kgf/cm^2 , según la altura de confinamiento partiendo desde la zona central.

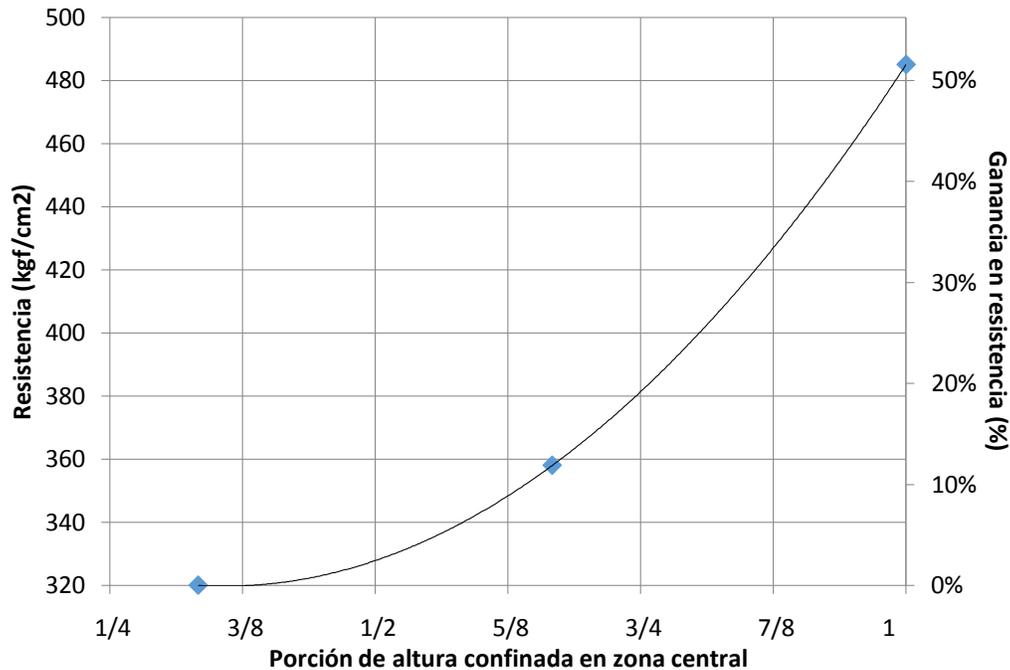


Figura 5.1 Gráfico Resistencia - Porción de altura confinada en zona central

La curva sigue el comportamiento dictado por la ecuación 5–1:

$$R_{cc} = 400.5(HC)^2 - 286.5(HC) + 371$$

Ecuación 5-1

Donde HC se refiere a la altura confinada.

Con lo cual se podría definir la porción de altura a confinar en función de la resistencia que necesita el miembro a ser reforzado, permitiendo un uso más eficiente de la fibra de carbono en términos de aporte de capacidad portante.

Por otra parte la ecuación 5–2 permite determinar porcentajes de ganancia en función de la altura confinada:

$$\%ganancia = 1.25(HC)^2 - 0.9(HC) + 0.15$$

Ecuación 5-2

Al determinar las tensiones que se transmiten a la fibra se comprobó que en los casos donde existen masas de concreto expuestas, 1/3 y 2/3, la falla del miembro ocurre

antes de alcanzarse la tensión máxima permitida por la matriz Fibra – Epoxi, principalmente por fallos en la interfaz Mortero – Agregado dentro del concreto, esto indica que la capacidad de la fibra no es provechada plenamente.

Por tanto no confinar la totalidad del miembro evitar aprovechar de forma plena las propiedades mecánicas de la matriz Fibra – Epoxi, principalmente el aporte en términos de ductilidad.

5.2. Recomendaciones

Si se desea obtener ganancia en términos de ductilidad, se recomienda confinar el miembro en la totalidad de su altura. Si lo que se busca es aumentar resistencia se recomienda utilizar el grafico 5-1, el cual permite conocer la altura requerida para reducir costos en material.

Este trabajo se realizó con base a resistencias de 320 Kg/cm² para reducir variables, por ello se recomienda profundizar el estudio variando las resistencias a modo de poder obtener una curva que no dependa de exclusivamente de una resistencia base.

Se recomienda retomar estos estudios con miembros cortos prismáticos que asemejen la realidad de columnas no circulares, así como realizar estudios donde se plantee un sistema de diferentes patrones de configuración para optimizar el uso de la fibra.

Estudios con miembros de mayores dimensiones donde sea considerado el efecto de la esbeltez, como también otro donde los miembros incluyan refuerzo con acero.

Al conocer el aporte que la fibra genera, surge la recomendación de estudiar la necesidad de inyectar las grietas con epoxi antes de realizar el refuerzo con confinamiento completo del miembro, así como conocer la ganancia que se genera por cantidad de capas de refuerzo.

Ampliar las investigaciones en el área de materiales de alta tecnología y poder contar con equipos de precisión que permitan estas investigaciones, es una importante recomendación no solo para el Laboratorio de Tecnología Del Concreto UCAB sino como para la universidad en general.

BIBLIOGRAFÍA

Bank, L. *Composites for Construction: Structural Design with FRP Materials*. John Wiley&Sons. New Jersey. 2006.

Das Neves D., Frade A. *Evaluación del comportamiento de vigas de concreto armado reforzadas con fibra de carbono, ensayadas a corte*. Caracas, 2013. Tesis de grado (Ingeniería Civil). Universidad Católica Andrés Bello. Facultad de Ingeniería.

Durán Q., Carlos. *Refuerzo con bandas de fibra de carbono (CFRP) en columnas cortas de concreto reforzado. Estudio exploratorio*. México, 2008, 119 páginas. Tesis fin de Máster (Ingeniería Civil - Estructuras). Universidad Nacional Autónoma de México. Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería. Obtenido en Septiembre de 2016 desde:

<http://132.248.9.195/ptd2008/septiembre/0632246/index.html>

Fernández R., E. *Reparación de Estructuras de Concreto Armado con Resina Epóxica*. Caracas, 1978, 256 h. Tesis de grado (Ingeniería Civil). Universidad Católica Andrés Bello. Facultad de Ingeniería.

Nilson, A. *Diseño de Estructuras de Concreto*. Mc GRAW- HILL. 1997.

Park, R. & Paulay, T. *Estructuras de Concreto Reforzado*. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Canterbury. Editorial Limusa. México, 1983.

Popov, E. *Mecánica de sólidos*. Pearson Educación. México, 1983.

Porrero, J.; Ramos, C.; Grases, J. & Velazco, G. *Manual del Concreto Estructural*. 2da Edición. Caracas, 2008.

Rodríguez, J. & Quintero, S. *Evaluación del comportamiento de vigas de concreto reforzadas con fibras de carbono, ensayadas a flexión a edad temprana de su colocación*. Caracas, 2008, 75 páginas. Tesis de grado (Ingeniería Civil). Universidad Católica Andrés Bello. Facultad de Ingeniería.

Singer, F. & Pytel, A. *Resistencia de materiales*. Editorial Alfaomega. 1994.