



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MIEMBROS CORTOS DE  
CONCRETO ESTRUCTURAL SOMETIDOS A TENSIONES DE COMPRESIÓN AL  
ESTAR ENVUELTOS EN ANILLOS DE FIBRA DE CARBONO**

Presentado ante la Universidad Católica Andrés Bello  
Como parte de los requisitos para optar por el título de  
INGENIERO CIVIL

Tesistas:

LÓPEZ CAPRILES, Arturo A.

STARCHEVICH MINELLI, Gian B.

Tutor:

Ing. Yelitza Sirit

Caracas, octubre de 2018

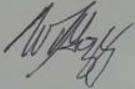


FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MIEMBROS CORTOS DE  
CONCRETO ESTRUCTURAL SOMETIDOS A TENSIONES DE COMPRESIÓN AL  
ESTAR ENVUELTOS EN ANILLOS DE FIBRA DE CARBONO**

Este jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado  
su contenido con el resultado: .....Veinte (20).....

JURADO EXAMINADOR

Firma:  Firma:  Firma:   
Nombre: Yelitza M. Sirit Nombre: Wilson Gouveia Nombre: María Barreiro

Tesistas:

LOPEZ CAPRILES, Arturo A.  
STARCHEVICH MINELLI, Gian B.

Tutor:

Ing. Yelitza Sirit



Caracas, octubre de 2018

*A mi familia, por el apoyo incondicional  
y acompañarme encada etapa de mi vida*  
**Gian Biagio Strachevich Minelli**

*A mi familia y amigos por la gran ayuda  
que me brindaron día a día*  
**Arturo Alexander López Capriles**

---

## AGRADECIMIENTOS

A nuestros padres y familiares por siempre confiar en nosotros y darnos el apoyo que necesitamos para realizar este trabajo de grado.

Al Ing Yelitza Sirit, por ser nuestro tutor, y asesorarnos a lo largo de todas las etapas.

Al Ing. MSc. Guillermo Bonilla, por compartir con nosotros su paciencia, experiencia y guiarnos a lo largo de los ensayos y la redacción.

Al Ing. José Rodríguez por donar los materiales necesarios y brindar asesoría para la colocación de la fibra de carbono.

Al Ing. Gerardo Rodríguez por donar los agregados necesarios para la elaboración de las probetas y por ayudarnos con su experiencia en obras.

A los demás tesisistas del laboratorio: Lorena Carballo, Gustavo Kosler, Stephanie Urdaneta y Jean-Mitchel De Martino por su compañía y apoyo.

A Egger por ayudarnos y enseñarnos a usar las herramientas del laboratorio.

Al Señor Luis Espinoza por ayudarnos en el proceso.

Gracias a todos.

**Gian Biagio Starchevich Minelli**  
**Arturo Alexander López Capriles**

## SINOPSIS

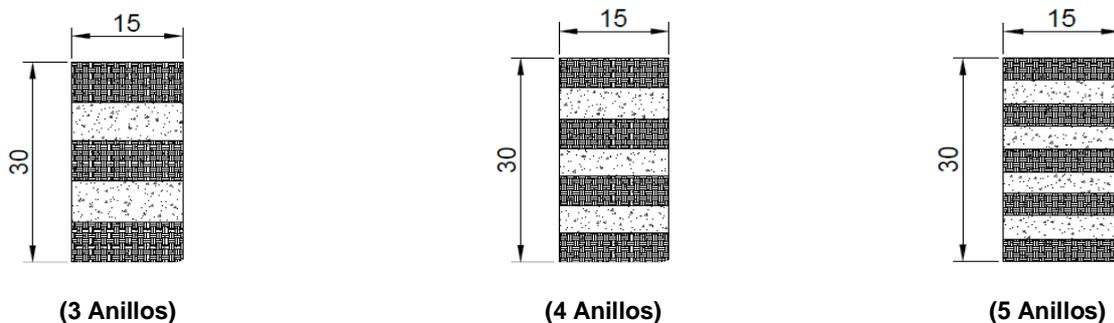
El presente tiene como objetivo analizar el comportamiento mecánico de miembros cortos de concreto, confinados superficialmente con anillos de fibra de carbono. Con el fin, de evaluar sus propiedades al ser sometidos a una carga monotónica creciente, variando la configuración de anillos de fibra de carbono.

Para el estudio, fueron desarrolladas 18 probetas normalizadas de concreto. Como muestra patrón de referencia se dispuso de seis (6) cilindros que no recibieron exo-refuerzo.

Los miembros restantes fueron reforzados de la siguiente manera:

**Tabla.** Especímenes.

ESPECÍMENES	ANILLOS	SEPARACIÓN	ALTURA ANILLO
4	3	1/5	1/5
	4	1/7	1/7
	5	1/9	1/9



**Figura.** Patrones de fibra.

Fuente: Elaboración Propia

El estudio permitió conocer los aportes que la matriz Fibra- Epoxi suministra al miembro corto de concreto al estar confinado con diferentes configuraciones de anillos de fibra, determinando así, la mejor configuración de confinamiento para las

---

solicitaciones requeridas y las tensiones a las cuales se encuentra sometida la matriz Fibra – Epoxi.

---

## ÍNDICE

CAPITULO I .....	12
PROBLEMA DE LA INVESTIGACION .....	12
1.1 Planteamiento del Problema .....	12
1.2 Antecedentes .....	13
1.3 Objetivo de la investigación.....	15
1.3.1.- Objetivo general .....	15
1.3.1.- Objetivos específicos .....	15
1.4 Alcance y limitaciones .....	16
CAPÍTULO II .....	17
MARCO TEÓRICO.....	17
2.1 Fundamentos Teóricos.....	17
2.1.1. Materiales Compuestos:.....	17
2.1.2. Polímeros reforzados con Fibra de Carbono: .....	18
2.1.3. Comportamiento del concreto a tensión-compresión .....	19
2.1.4. Variación Volumétrica.....	19
2.1.5. Energía absorbida por un elemento.....	20
2.1.6. Relación de Poisson.....	21
2.2.7. Cilindros de pared delgada.....	21
CAPÍTULO III .....	23
MARCO METODOLÓGICO.....	23
3.1 Tipo de Investigación .....	23
3.2 Población .....	23
3.3 Muestra .....	23
3.4 Recolección de datos .....	24
3.5 Equipos de aplicación de carga.....	24
3.6 Variables estudiadas y unidades de trabajo .....	25
3.6.1. Variables dependientes .....	25
3.6.2 Variables independientes .....	25
3.6.3 Factores constantes .....	25
3.6.4 Parámetros constantes.....	25

---

---

3.7	Materiales utilizados. Propiedades y características. Dosificaciones.....	26
3.7.1.	Cemento.....	26
3.7.2	Dosificación utilizada para el concreto.....	26
3.7.3	Fibra de Carbono.....	26
3.9	Fase de ejecución .....	28
3.9.1.-	Fase 1. Documentación.....	28
3.9.2.-	Fase 2. Ejecución de especímenes.....	28
3.9.3.-	Fase 3. Colocación de manto CFRP .....	29
3.9.4.-	Fase 4. Ensayos.....	31
CAPITULO IV .....		32
RESULTADOS Y ANÁLISIS.....		32
4.1	Comportamiento Tensión – Deformación Axial.....	32
4.1.1	Muestra Patrón (Referencial). .....	32
4.1.2	Confinamiento con 3 anillos .....	33
4.1.3	Confinamiento con 5 anillos .....	35
4.1.4	Confinada con 4 anillos .....	37
4.2	Relación Tensión/Tensión Máxima - Deformación Axial/Deformación Axial Máxima 40	
4.3	Deformación Transversal .....	41
4.3.1	Muestra Patrón (Referencial) .....	41
4.3.2	Confinada con 3 anillos de 1/5 de la altura total .....	42
4.3.3	Confinada con 5 anillos de 1/9 de la altura total .....	43
4.3.4	Confinada con 4 anillos de 1/7 de la altura total .....	44
4.4	Tensiones en la matriz Fibra-Epoxi .....	45
4.5	Relación Tensión/Tensión Máxima – Variación Volumétrica .....	49
4.5.1	Muestra patrón (Sin confinamiento).....	49
	.....	50
4.5.2	Confinada con 3 anillos de 1/5 de la altura total .....	50
4.5.3	Confinada con 5 anillos de 1/9 de la altura total .....	51
4.5.4	Confinada con 4 anillos de 1/5 de la altura total .....	52
CAPITULO V.....		54
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		54
5.1	Conclusiones.....	54
5.2	Recomendaciones.....	56

---

---

BIBLIOGRAFIA .....57

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1- FIBRA DE CARBONO (CFRP).....	19
FIGURA 2. GRÁFICO VARIACIÓN VOLUMÉTRICA. ....	20
FIGURA 3. A) RESILIENCIA; B) TENACIDAD. ....	20
FIGURA 4. DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS EN TUBO DE PARED DELGADA.....	22
FIGURA 5. PATRONES.....	24
FIGURA 6. PRENSA BALDWIN.....	24
FIGURA 7. PATRONES DE FIBRA.....	27
FIGURA 8. FASES DE EJECUCIÓN. ....	28
FIGURA 9. VACIADO.....	29
FIGURA 10. PREPARACIÓN DE LA FIBRA DE CARBONO (CFRP) .....	30
FIGURA 11. PREPARACIÓN DE PROBETAS. ....	30
FIGURA 12. COLOCACIÓN DE LA FIBRA DE CARBONO (CFRP).....	31
FIGURA 13. ENSAYO.....	31
FIGURA 14. GRÁFICO TENSIÓN - DEFORMACIÓN AXIAL PROMEDIO DE PROBETAS PATRÓN.....	33
FIGURA 15. GRÁFICO TENSIÓN - DEFORMACIÓN AXIAL PROBETA PATRÓN 1 Y CON 3 ANILLOS. ....	34
FIGURA 16. PROBETAS CON 3 ANILLOS ENSAYADAS.....	35
FIGURA 17. GRÁFICA TENSIÓN - DEFORMACIÓN AXIAL DE PROBETA PATRÓN 1, CON 3 ANILLOS Y CON 4 ANILLOS.....	36
FIGURA 18. PROBETAS CON 5 ANILLOS ENSAYADAS.....	37
FIGURA 19. GRÁFICA TENSIÓN - DEFORMACIÓN AXIAL PROBETA PATRÓN 2 Y CON 4 ANILLOS.....	38
FIGURA 20. PROBETAS CON 4 ANILLOS ENSAYADAS.....	39
FIGURA 21. GRÁFICO TENSIÓN / TENSIÓN MAX - DEFORMACIÓN AXIAL / DEFORMACIÓN AXIAL MAX. ....	40
FIGURA 22. GRÁFICO TENSIÓN - DEFORMACIÓN TRANSVERSAL DE PROBETA PATRÓN 1 Y PROBETA PATRÓN 2.....	41
FIGURA 23. GRÁFICO TENSIÓN - DEFORMACIÓN TRANSVERSAL DE PROBETA PATRÓN 1 Y CON 3 ANILLOS.....	42
FIGURA 24. GRÁFICO TENSIÓN - DEFORMACIÓN TRANSVERSAL PATRÓN 1, CON 4 ANILLOS Y CON 2 ANILLOS.....	43
FIGURA 25. GRÁFICO TENSIÓN - DEFORMACIÓN TRANSVERSAL DE PATRÓN 2 Y CON 4 ANILLOS. ....	44
FIGURA 26. GRÁFICO TENSIÓN EN LA MATRIZ FIBRA-EPOXI - CANTIDAD DE ANILLOS. ....	45
FIGURA 27. COMPORTAMIENTO A COMPRESIÓN FUENTE: <a href="http://campus.fi.uba.ar">WWW.HTTP://CAMPUS.FI.UBA.AR</a> .....	46
FIGURA 28. PROBETAS ENSAYADAS.....	46
FIGURA 29. GRÁFICO % DE GANANCIA DE RESISTENCIA - ÁREA DE FIBRA EN EL TERCIO CENTRAL DE LA PROBETA.....	47
FIGURA 30. ÁREA DE FIBRA EN EL TERCIO CENTRAL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	48
FIGURA 31. GRÁFICO VARIACIÓN VOLUMÉTRICA PATRÓN 1 .....	49
FIGURA 32. GRÁFICO VARIACIÓN VOLUMÉTRICA PATRÓN 2.....	50
FIGURA 33. GRÁFICO VARIACIÓN VOLUMÉTRICA PATRÓN 1 Y CON 3 ANILLOS.....	51
FIGURA 34. GRÁFICO VARIACIÓN VOLUMÉTRICA PATRÓN 1 Y CON 5 ANILLOS .....	52

---

FIGURA 35. GRÁFICO VARIACIÓN VOLUMÉTRICA PATRÓN 2 Y CON 4 ANILLOS.....53

---

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. DOSIFICACIÓN.....	26
TABLA 2. RESULTADOS MUESTRAS REFERENCIALES (SIN CONFINAR) .....	32
TABLA 3. PORCENTAJES DE GANANCIA 3 ANILLOS - PATRÓN 1. ....	35
TABLA 4. PORCENTAJES DE GANANCIA 5 ANILLOS - PATRÓN 1.....	36
TABLA 5. PORCENTAJES DE VARIACIÓN DE GANANCIA ENTRE 3 ANILLOS - 5 ANILLOS.....	37
TABLA 6. PORCENTAJE DE GANANCIA 4 ANILLOS - PATRÓN 2.....	38
TABLA 7. PORCENTAJES DE VARIACIÓN DE GANANCIAS ENTRE 4 ANILLOS - 5 ANILLOS. ....	39
TABLA 8. PORCENTAJES DE VARIACIÓN DE GANANCIA ENTRE 3 ANILLOS - 4 ANILLOS. ....	39
TABLA 9. ÁREA DE FIBRA EN EL TERCIO CENTRAL. ....	47

---

## CAPITULO I

### PROBLEMA DE LA INVESTIGACION

#### 1.1 Planteamiento del Problema

En la actualidad diversas estructuras de concreto reforzado presentan daños que comprometen su integridad, hasta el punto que puedan llegar al colapso en caso de no ser tomadas las medidas correctivas.

Esto debido a problemas con la calidad de los agregados, métodos constructivos y fenómenos naturales que no fueron contemplados en la etapa de diseño estructural.

Es por ello que surgió la necesidad de desarrollar métodos de refuerzo estructural que cumplieran con la función de mejorar las propiedades mecánicas de los miembros. Entre ellos pueden ser citados los asociados al confinamiento perimetral con base en perfiles metálicos; aumento de secciones con morteros de altas resistencias y aquellos donde son aplicadas distintas formas de fibras ya sea a manera de tejido o mediante pletinas.

Hasta ahora existen diferentes métodos de refuerzo estructural que cumplen con su función de mejorar las propiedades mecánicas del elemento, pero presentan complicaciones en cuanto a su aplicación, facilidad de colocación y costos. De tal manera que en la actualidad los avances en las investigaciones han demostrado que las fibras; en especial de carbono aplicada junto con resinas epoxi, permiten reforzar edificaciones con problemas estructurales de una manera más rápida y eficiente.

Dentro de este contexto, la aplicación de tejidos en fibra de carbono (WRAP) suele ser colocada a lo largo de todo el miembro cuando se trata de columnas, otorgando mayor capacidad y ductilidad que la prevista en el diseño original; por lo

---

que el resto de miembros que convergen al reforzado deben recibir parcialmente recubrimiento con manto para que puedan absorber las tensiones en exceso que serían transmitidas, en caso que acciones dinámicas eventuales impactaran la estructura.

En éste sentido, Gonzales (2017) inició estudios que demostraron que probetas en concreto simple, parcialmente reforzados contaban con suficiente ductilidad y sobre resistencia; sin embargo, se hace necesario profundizar en esta área de conocimientos para establecer parámetros que permitan reforzar de manera eficiente y eficaz miembros de concreto sometidos a tensiones de compresión.

## 1.2 Antecedentes

### **Fernández, E.**

Universidad Católica Andrés Bello. 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.

Estudian las resinas-epoxi restaurando miembros con daños sufridos en el concreto, analizando las propiedades físicas más importantes. Concluyen que las resinas-epoxi, adquieren propiedades mecánicas superiores al concreto en menor tiempo.

### **Durán C.**

Universidad Nacional Autónoma de México. 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.

El estudio se basó en el refuerzo de columnas cortas de concreto con bandas de fibra de carbono (CFRP) aplicando ciclos de carga. El autor concluyó que el

---

---

desplazamiento lateral aumentó un 20% y la capacidad de carga aumentó ligeramente.

**Rodríguez J., Quintero S.**

Universidad Católica Andrés Bello. 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.

Esta investigación se enfocó en el estudio del comportamiento de vigas de concreto estructural reforzadas con fibra de carbono tipo pletinas, adheridas externamente en la cara inferior como método de reforzamiento y ensayadas a edad temprana de su colocación. La fibra incrementó los desplazamientos y las capacidades, concluyendo que las vigas no deben ser sometidas a altos niveles de esfuerzo poco tiempo después de su colocación, ya que pueden ocurrir desprendimientos.

**Das Neves D., Frade A.**

Universidad Católica Andrés Bello. 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.

El estudio se basó en el comportamiento de vigas llevadas a la falla por corto y posterior reparación con pletinas de fibra de carbono. Concluye que el número de tiras de fibra de carbono no afecta la resistencia, siempre y cuando sean colocadas en el lugar de la falla.

**Malabet J, Gonzalez W.**

Universidad Católica Andrés Bello. 2017.

---

*“Estudio de las propiedades mecánicas de miembros cortos de concreto estructural sometidos a tensiones de compresión al estar envueltos en anillos de fibra de carbono”.*

---

**Título:** *Evaluar las propiedades mecánicas de miembros cortos de concreto estructural sometidos a tensiones de compresión al estar envueltos en mantos de fibra de carbono.* Universidad Católica Andrés Bello. Caracas, Venezuela.

**Tutor:** Ing. MSc. Guillermo Bonilla

La investigación se enfocó en el estudio del comportamiento de miembros cortos de concreto estructural sometidos a tensiones de compresión al estar envueltos con distintas alturas de fibra de carbono. Concluye que el confinamiento con fibra de carbono en 1/3 de la altura total no aporta resistencia ni ductilidad, mientras que el confinamiento con 2/3 de la altura total mostró un incremento del 12% y la probeta con un confinamiento total, aumentó su resistencia 51.2%.

### **1.3 Objetivo de la investigación**

#### **1.3.1.- Objetivo general**

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

#### **1.3.1.- Objetivos específicos**

- Determinar la incidencia de la configuración de confinamiento sobre el comportamiento Tensión – Deformación Axial de miembros cortos de concreto, reforzados mediante anillos de fibra de carbono.
- Evaluar la incidencia de la configuración de confinamiento sobre comportamiento Tensión – Deformación Transversal de miembros cortos de concreto, reforzados mediante anillos de fibra de carbono.

- Determinar la incidencia de la configuración de confinamiento sobre la relación Tensión/Tensión Max – Variación Volumétrica de miembros cortos de concreto estructural, reforzados mediante anillos de fibra de carbono.
- Establecer la relación entre tensión anular generada en los anillos de fibra de carbono en función de la configuración de anillos de fibra de carbono en miembros cortos de concreto sometidos a esfuerzos de compresión.

#### 1.4 Alcance y limitaciones

El trabajo especial de grado se desarrolló con base en 18 probetas, de las cuales 6 sirvieron de patrón referencial y 12 fueron reforzadas con anillos de fibra de carbono con distintas configuraciones. Estas configuraciones se relacionaron con la altura total de la probeta, estableciendo una separación anillo-anillo igual a la altura de los mismos, es decir, para el confinamiento con 3 anillos se estableció una separación de  $1/5$  de la altura total de la probeta, siendo la altura del anillo igual a la separación entre los mismos; para el caso del confinamiento con 4 anillos la relación fue de  $1/7$  y para el de 5 anillos  $1/9$  de la altura total.

Los miembros de concreto estructural fueron elaborados sin acero de refuerzo, curados durante 28 días para la posterior colocación de fibra y ensayo.

El refuerzo de las probetas se realizó con mantos de fibra Sika Wrap 300 C NW de carbono unidireccionales, colocados perpendicularmente al sentido de aplicación de tensiones de compresión y adheridos con resina epoxica Sikadur – 301.

---

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Fundamentos Teóricos

##### 2.1.1. Materiales Compuestos:

Un material compuesto está conformado por dos materiales distintos, sin que ocurra una reacción química entre ellos, consiguiendo así propiedades mecánicas que serían imposibles que se consiguieran por separado. Cada uno de los materiales que lo conforman tienen características específicas, las cuales al ponerse a trabajar en conjunto se obtienen los beneficios de los dos materiales en uno.

Los componentes que integran los materiales compuestos son:

- La Matriz: es el componente que se presenta en fase continua, y que actúa como ligante. Da estabilidad al conjunto, protege al refuerzo del deterioro y evita la propagación de grietas.
- El refuerzo: es el componente que al contrario que la matriz, se presenta en forma discontinua, cuya misión es resistir esfuerzos.

Como ejemplo de un material compuesto, sería el concreto reforzado u otros a menor escala como los que incluyen materiales tipo plásticos reforzados con fibras de carbono (CFRP), de vidrio (GFRP) o de aramida (AFRP).

### 2.1.2. Polímeros reforzados con Fibra de Carbono:

Los polímeros reforzados con fibra son materiales compuestos que en los últimos años se han convertido económica y estructuralmente viables para la construcción y refuerzo de edificios y puentes. Polímeros reforzados con fibra de carbono (CFRP) por sus siglas en Ingles, usados en la Ingeniería Estructural consisten en una fibra de carbono embebida en una matriz de resina epóxica. (Bank, 2006)

Las investigaciones acerca de las ventajas y propiedades de este material han avanzado bastante durante la última década, lo que ha permitido su aplicación en diversas áreas y la creación de normas y manuales que normalicen su aplicación.

Recientemente, los materiales compuestos de fibras embutidas en una resina polimérica, también conocidos como polímeros reforzados con fibra, se han convertidos en una alternativa al acero de refuerzo para estructuras de hormigón, gracias a las ventajas que ofrece frente al acero convencional; Al adherirse al concreto mediante el polímero epóxico, la fibra transmite sus propiedades al concreto comportándose, así como un material compuesto concreto-fibra de carbono.

Las propiedades principales de este material compuesto son:

- Inmunidad a la corrosión
- Bajo peso
- Facilidad de aplicación en espacios confinados
- Reducción en los costos de la mano de obra
- Alta resistencia a la tensión axial
- Costo elevado por peso del material
- Comportamiento lineal hasta la falla

La fibra de Carbono será capaz de soportar fuerzas de corte y fuerzas axiales, al colocar la fibra en forma de anillos alrededor del elemento a reforzar y soporta fuerzas de flexión, colocando la fibra de forma longitudinal a lo largo del elemento a reforzar. Para ello se debe garantizar la unión fibra de carbono - concreto, y que trabaje como un solo elemento transmitiendo las fuerzas a la fibra de carbono apenas ocurran deformaciones en el elemento.



**Figura 1-** Fibra de Carbono (CFRP).

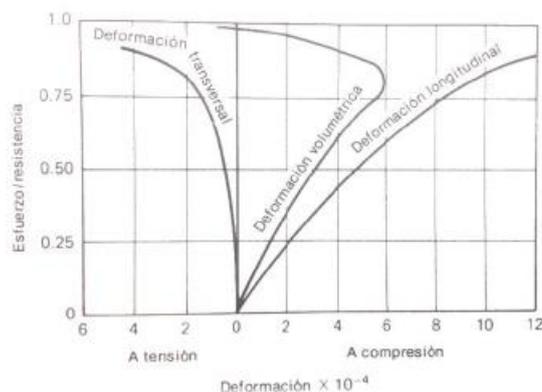
Fuente: <http://www.tectonica-online.com>

### **2.1.3. Comportamiento del concreto a tensión-compresión**

Las formas de la curva tensión- deformación del hormigón, bajo cargas de compresión, son casi lineales hasta un medio de la resistencia a compresión, sin embargo, la forma de la curva antes de la tensión máxima dependerá si el concreto es de baja o alta resistencia. La deformación en la tensión máxima es aproximadamente 0.002. A deformaciones más elevadas todavía pueden transmitirse esfuerzos haciéndose ya visibles grietas paralelas a la dirección de la carga.

### **2.1.4. Variación Volumétrica**

Al someter una probeta de concreto a carga axial esta se deformará tanto en la dirección paralela a la carga como en el sentido transversal, haciendo que el miembro tenga una variación volumétrica siguiendo un patrón de comportamiento que dependerán de sus propiedades.

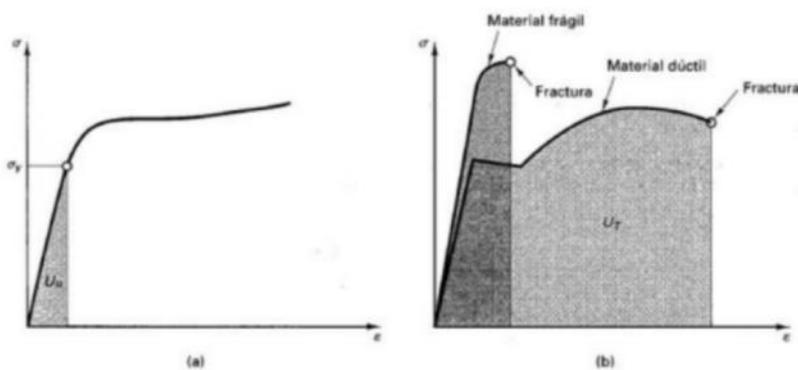


**Figura 2.** Gráfico Variación Volumétrica.

Fuente: Park & Pauley. Estructuras de Concreto Reforzado.

### 2.1.5. Energía absorbida por un elemento

Todo elemento sometido a una carga, es capaz de deformarse absorbiendo la energía que se le está aplicando. La capacidad del material de absorber dicha energía antes de fracturarse recibe el nombre de tenacidad y cuando el material absorbe energía sin sufrir deformaciones plásticas se denomina resiliencia. Al ser mayor el área total bajo la gráfica Esfuerzo-Deformación, mayor será la tenacidad del material, siendo esta una magnitud referida a la energía absorbida



**Figura 3.** a) Resiliencia; b) Tenacidad.

Fuente: Popov. Mecánica de sólidos.

### 2.1.6. 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)

$$\nu = -\frac{\epsilon_y}{\epsilon_x} = -\frac{\epsilon_y}{\epsilon_x} \text{ (Ecuación 2-1)}$$

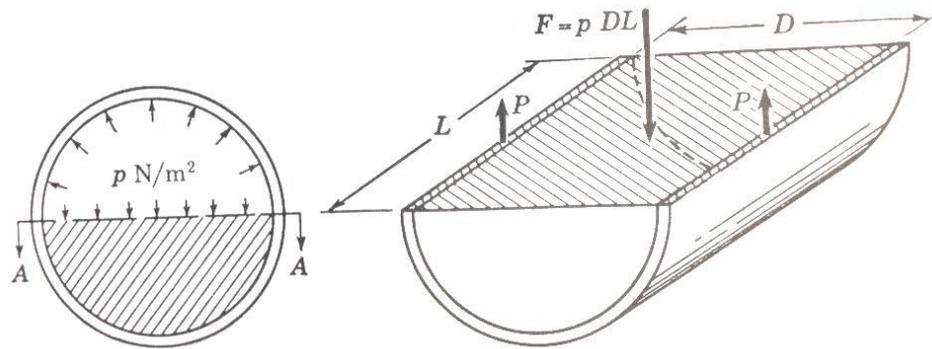
Mediante la relación de Poisson es posible obtener las tensiones en función de las deformaciones para un sistema biaxial, obteniéndose la ecuación 2-2:

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

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

### 2.2.7. Cilindros de pared delgada

Un cilindro sometido a tensiones internas soporta fuerzas de tracción en su sección longitudinal y transversal, lo que se traduce en tensiones que se transmiten a la matriz fibra-epoxi adherida superficialmente a la probeta.



**Figura 4.** Distribución de esfuerzos en tubo de pared delgada

Fuente: Synger y Pytel, Resistencia de Materiales

---

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Tipo de Investigación

En este trabajo especial de grado se estudió las propiedades mecánicas de miembros cortos de concreto sometidos a tensiones de compresión en función del patrón de confinamiento con manto de fibra de carbono, colocada alrededor del miembro.

Cumpliendo con lo anterior, la investigación presente debió ser de carácter exploratorio, descriptivo y experimental.

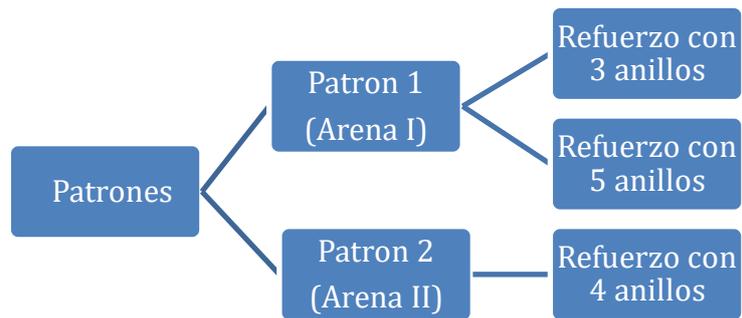
#### 3.2 Población

La población estuvo conformada por un total de 18 cilindros normalizados de dimensiones constantes, 15 cm de diámetro x 30 cm de altura.

#### 3.3 Muestra

La muestra estuvo referida por los 18 miembros definidos en la población, de los cuales seis (6) cilindros cumplieron la función de ser testigos referenciales de las propiedades mecánicas.

Las muestras fueron elaboradas con dos diferentes tipos de arenas, por lo cual se presenta el siguiente esquema de utilización de patrones de comparación.



**Figura 5.** Patrones

Fuente: Elaboración Propia

### 3.4 Recolección de datos

Los datos experimentales fueron obtenidos mediante el uso de potenciómetros lineales para medir las deformaciones, captados en forma audiovisual y electrónica para luego los resultados obtenidos, ser manejados en hojas de cálculo.

### 3.5 Equipos de aplicación de carga

Prensa Universal Baldwin modelo # 49850 100 toneladas de capacidad del Laboratorio de Tecnología del Concreto UCAB.



**Figura 6.** Prensa Baldwin

Fuente: Elaboración Propia

### 3.6 Variables estudiadas y unidades de trabajo

#### 3.6.1. Variables dependientes

- Deformación axial a límite elástico:
- Deformación axial a carga última:
- Deformación radial a carga última:
- Carga última: Kgf
- Carga límite elástico: Kgf

#### 3.6.2 Variables independientes

- Resistencia a compresión del concreto: Kgf/cm<sup>2</sup>
- Patrón de confinamiento:

#### 3.6.3 Factores constantes

- Diámetro cilindro: 15 cm
- Altura Cilindro: 30 cm
- Área transversal: 176 cm<sup>2</sup>

#### 3.6.4 Parámetros constantes

- Período de curado del concreto: 31 días
- Período de adherencia Fibra – Epoxi - Concreto: 6 días

### 3.7 Materiales utilizados. Propiedades y características. Dosificaciones.

#### 3.7.1. Cemento

Cemento Portland Tipo CPCA I Compuesto (Corporación Socialista del Cementos S.A.

#### 3.7.2 Dosificación utilizada para el concreto

Tabla 1. Dosificación.

Dosificación			
Cemento (Kg)	Agregado fino (Kg)	Agregado grueso (Kg)	Agua (lts)
470	1131.76	849	188.63

#### 3.7.3 Fibra de Carbono

Marca: Sika

Tipo: SikaWrap 300c

Espesor: 0.17 mm

Módulo de elasticidad media: 2396000 Kg/cm<sup>2</sup>

Resistencia a la tracción media: 42000 Kg/cm<sup>2</sup>

#### 3.7.4 Resina Epoxi

Marca: Sika

Tipo: Sikadur – 301

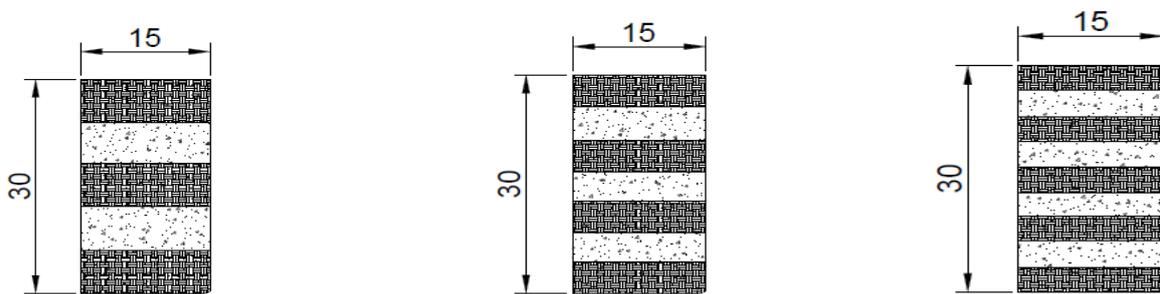
Módulo de elasticidad media: 2000 Kg/cm<sup>2</sup>

Resistencia a tracción: 520 Kg/cm<sup>2</sup>

### 3.8 Diseño experimental

Para la recolección de la data de resistencias teóricas de los miembros cortos, se ensayaron a compresión probetas cilíndricas normalizadas las cuales se dispusieron en tres (3) grupos de seis (6) probetas, cada grupo con una configuración única anillos de fibra de carbono en solo cuatro (4) de las seis (6) probetas, dejando las dos (2) restantes como testigos sin confinamiento de las propiedades mecánicas.

Los tres patrones ensayados se muestran a continuación



**(3 Anillos de 6cm)**  
**(30/5)**

**(4 Anillos de 4,3 cm)**  
**(30/7)**

**(5 Anillos de 3,3 cm)**  
**(30/9)**

**Figura 7.** Patrones de fibra.

Fuente: Elaboración Propia

En cada uno de los patrones se colocaron anillos de fibra en función de la altura del miembro, es decir, cada anillo tiene una altura igual a la separación entre cada uno de ellos.

### 3.9 Fase de ejecución



**Figura 8.** Fases de ejecución.

Fuente: Elaboración Propia

#### 3.9.1.-Fase 1. Documentación

En esta fase se procedió a investigar sobre el aporte de la fibra de carbono en las propiedades mecánicas de los elementos estructurales, y la colocación de refuerzo necesaria según el tipo de sollicitación (Corte, Flexión o Axial). Todo ello con la finalidad de establecer los alcances, limitaciones y acordar las variables dependientes e independientes.

#### 3.9.2.-Fase 2. Ejecución de especímenes.

##### 3.9.2.1.- Vaciado de especímenes.

Para el vaciado del concreto primero se procedió a pesar el cemento y los agregados, para luego realizar el vaciado en la mezcladora, se realizaron dos vaciados por día, cada vaciado consistía de una familia de seis (6) cilindros, los cuales formaban un grupo con su respectivo patrón de fibra.

El vaciado se realizó con los moldes de probetas del Laboratorio de Tecnología Del Concreto UCAB, los cuales fueron recubiertos con una capa interna de aceite.



**Figura 9.** Vaciado

Fuente: Elaboración Propia

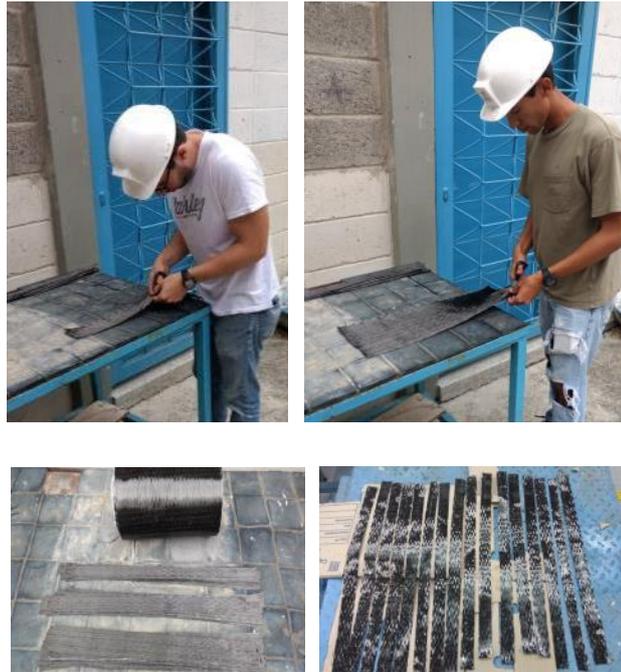
### 3.9.2.2.- Curado de especímenes.

El curado de cada una de las probetas se inició al desencofrar a las 24 horas del vaciado, el mismo se realizó sumergiendo las probetas en cámaras de agua durante 28 días, de esta manera se aseguraron las condiciones de humedad para un correcto curado del concreto.

### 3.9.3.-Fase 3. Colocación de manto CFRP

Para la colocación del manto de fibra de carbono las probetas deben ser previamente preparadas, para ello se procedió a devastar la superficie con un esmeril, y luego se limpió con hidrojeteo para eliminar cualquier partícula y/o polvo que debilitara la adherencia epoxi – concreto, todo ello siguiendo las indicaciones del fabricante.

Luego se procedió a preparar la fibra para su colocación, para ello se cortaron las tiras con los tamaños correspondientes de cada patrón, y con una longitud adicional para solape de 10cm al momento de colocar la fibra alrededor de la probeta, utilizando para tal fin una tijera común.



**Figura 10.** Preparación de la fibra de carbono (CFRP)

Fuente: Elaboración Propia

Cada probeta fue marcada con la finalidad de facilitar la colocación de cada tira de fibra de carbono, para ello se empleó el uso de tirro para reconocer fácilmente los sectores que deben quedar sin fibra de carbono.



**Figura 11.** Preparación de probetas.

Fuente: Elaboración Propia

Por último, se procedió a la preparación de la resina epoxi siguiendo el instructivo del fabricante, para luego colocar una película de la misma sobre la superficie de la probeta, luego el manto de fibra de carbono previamente cortado según el patrón a colocar y por último, otra capa de resina procurando la saturación del mismo, para esta actividad se utilizó un rodillo especial.



**Figura 12.** Colocación de la fibra de carbono (CFRP)

Fuente: Elaboración Propia

### 3.9.4.-Fase 4. Ensayos

Para la ejecución de los ensayos se tuvo que idear la manera de medir las deformaciones axiales y transversales, para ello se utilizaron dos potenciómetros digitales.

Fue necesario garantizar el paralelismo de las caras transversales y la verticalidad de los miembros para garantizar la compresión axial pura, para ello se nivelaron las caras de todos los cilindros.



**Figura 13.** Ensayo.

Fuente: Elaboración Propia

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados están referidos a los promedios de las 4 probetas ensayadas por cada patrón de fibra.

#### 4.1 Comportamiento Tensión – Deformación Axial

##### 4.1.1 Muestra Patrón (Referencial).

Se recuerda que el análisis se hace con base en la comparación de dos (2) muestras patrón (Patrón 1 y Patrón 2); el patrón 1 se comparó con las probetas confinadas con 3 y 5 anillos y el patrón 2 con las probetas confinadas con 4 anillos.

**Tabla 2.** Resultados muestras referenciales (sin confinar)

Patrón	Resistencia (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Módulo Elástico (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Energía (Kgf-cm)
1	330	178971	1497
2	200	118367	1674

La tendencia de las curvas presenta diferencias antes de llegar a la tensión máxima como se evidencia en la Figura 14, el Patrón 1 permaneció casi lineal hasta llegar al punto de tensión máxima donde el valor de la deformación fue de 2.1‰, comportamiento típico de concretos de altas resistencias, en cambio el Patrón 2 disminuye su pendiente generando una curva más convexa, obteniendo tenciones más bajas, pero con mayor ductilidad, siendo la deformación en este punto del 3‰.

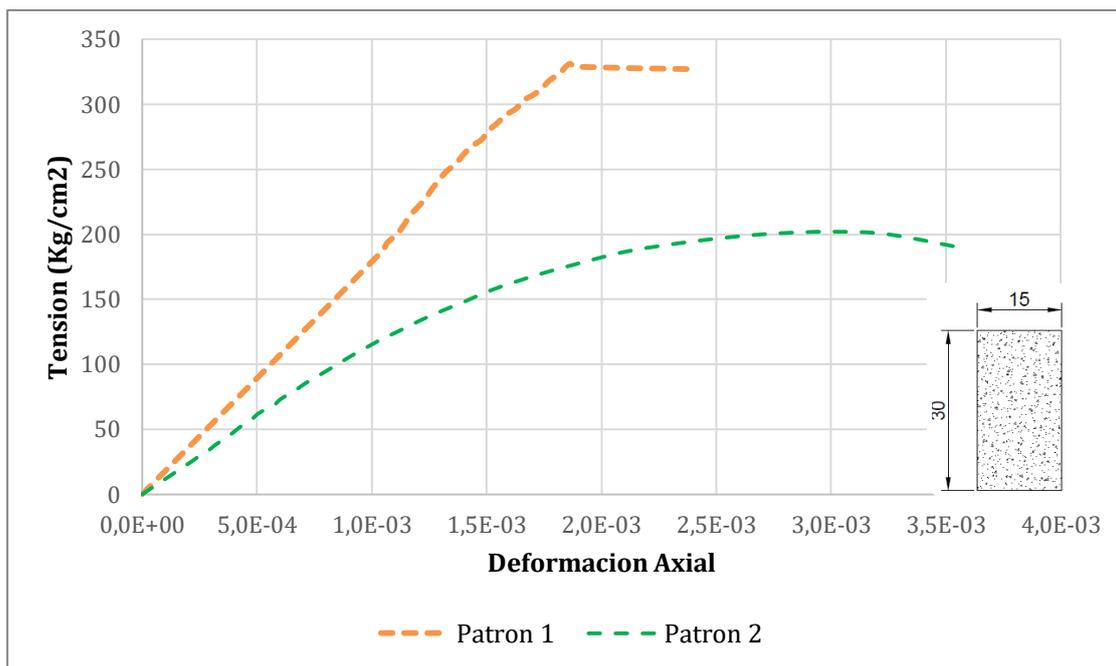
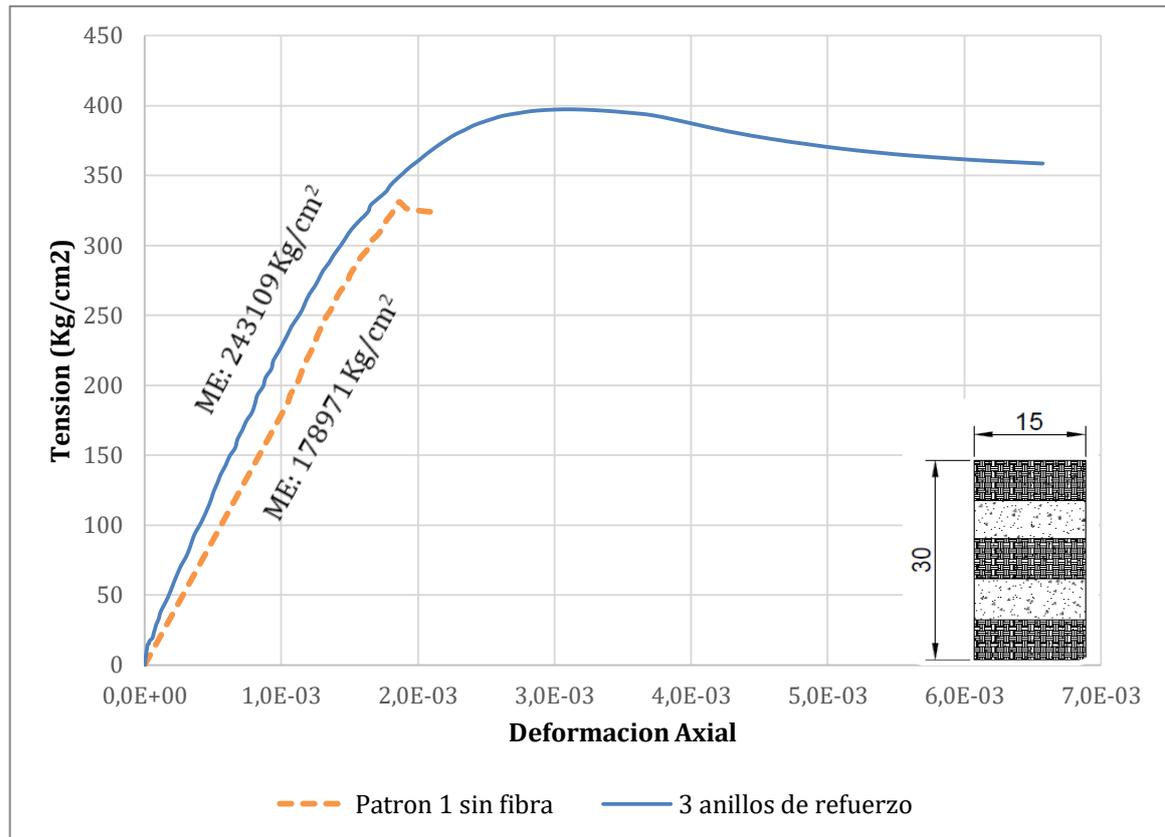


Figura 14. Gráfico Tensión - Deformación Axial promedio de probetas patrón.

#### 4.1.2 Confinamiento con 3 anillos

La Figura 15, muestra al miembro con 3 anillos de fibra-epoxi respecto al patrón, en la cual se observa como el módulo de elasticidad del miembro reforzado incremento 35.83%, esta variación se genera por el confinamiento que brindan los anillos restringiendo las deformaciones transversales, por lo que las deformaciones axiales se producen a menor velocidad cambiando la pendiente de la curva. Al incrementarse el módulo de elasticidad la tensión máxima soportada aumenta, obteniendo un valor de  $400 \text{ Kg}/\text{cm}^2$ , lo que representa un incremento de 21.21%.



**Figura 15.** Gráfico Tensión - Deformación Axial probeta patrón 1 y con 3 anillos.

Asimismo, la ductilidad plástica del elemento confinado con tres (3) anillos aumento en un 213% antes de la rotura y la energía adicional absorbida fue de 370,81 %, gracias a los anillos de fibra-epoxi, ya que en ese instante el concreto ha superado su deformación máxima del (3‰) siendo evidente que este llego a su máxima capacidad. A partir de este punto los anillos de fibra-epoxi soportan las deformaciones y mantienen las tensiones constantes por el efecto de confinamiento sobre el concreto, hasta alcanzar una deformación de 6.5‰, momento en que las grietas en el concreto in-confinado se transmiten a los anillos de fibra-epoxi generando la falla del mismo.

**Tabla 3.** Porcentajes de ganancia 3 Anillos - Patrón 1.

Número de anillos	Ganancia respecto al Patrón 1			
	Resistencia	Módulo Elástico	Ductilidad	Energía
3	21,21%	35,83%	213.10%	370,81%



**Figura 16.** Probetas con 3 anillos ensayadas.

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.1.3 Confinamiento con 5 anillos

La figura 17, muestra al miembro con 5 anillos de fibra-epoxi respecto al de 3, en ella se aprecia una pérdida en términos de capacidad resistente del miembro con 5 anillos del 15%, la cual arrojó un valor de  $340 \text{ Kg/cm}^2$ . Al comparar los módulos de elasticidad de ambos miembros, se refleja una disminución de 14%, esta variación se genera por una pérdida en la capacidad de confinamiento, debido a los espacios vacíos próximos a la zona central de la probeta, que permiten mayores deformaciones transversales.

Dentro de este contexto, la ductilidad del miembro de 5 anillos se redujo, disminuyendo así la capacidad de deformación antes de la rotura y la capacidad de absorción de energía adicional en 45 y 50% respectivamente.

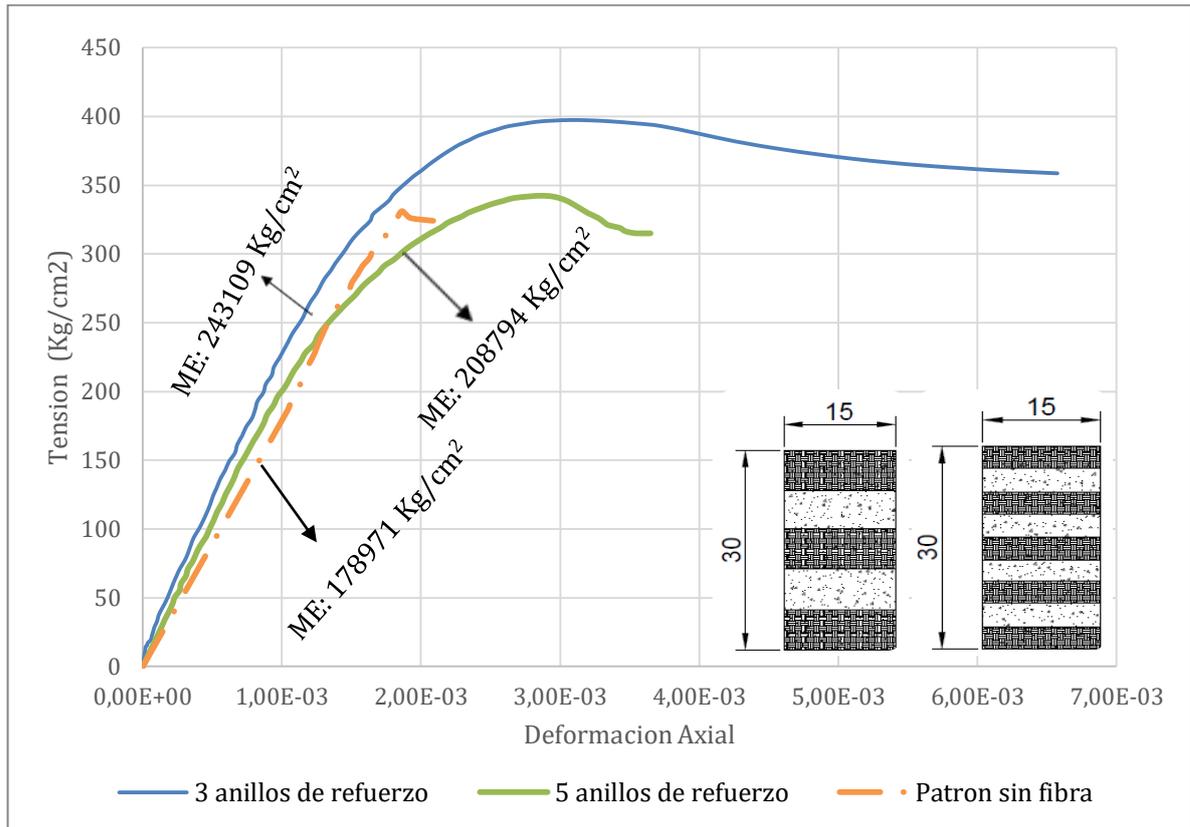


Figura 17. Gráfica Tensión - Deformación Axial de probeta patrón 1, con 3 anillos y con 4 anillos.

Por otra parte, al existir más zonas expuestas de concreto, existen más posibilidades de generarse planos de fallas en la interface mortero-agregado que luego se transmiten al anillo de fibra-epoxi. Además el área de confinamiento de cada anillo fibra-epoxi en el miembro con 5 anillos es  $157 \text{ cm}^2$  y en el de 3 anillos  $286 \text{ cm}^2$ , lo que resulta en una disminución del área confinada por anillo de 44.44%, esto conlleva a cambios en la distribución de las tensiones sobre los anillos, las cuales se concentran en una menor área de fibra trayendo como consecuencia que esta falle con menores deformaciones.

Tabla 4. Porcentajes de ganancia 5 anillos - Patrón 1.

Número de anillos	Ganancia respecto al Patrón 1			
	Resistencia	Módulo Elástico	Ductilidad	Energía
5	3,03%	16,67%	60.00%	135%

En la tabla 5 se presenta la variación porcentual de las ganancias entre los confinamientos de 3 y 5 anillos.

**Tabla 5.** Porcentajes de variación de ganancia entre 3 Anillos - 5 Anillos

Variación del % de ganancia 3 Anillos respecto a 5 Anillos			
Resistencia	Módulo Elástico	Ductilidad	Energía
593.00%	115.00%	255%	321.00%



**Figura 18.** Probetas con 5 anillos ensayadas.

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.1.4 Confinada con 4 anillos

La resistencia máxima resultó  $214 \text{ Kg}/\text{cm}^2$ , lo que se traduce en un aumento del 7% con respecto al Patrón 2. Al observar el comportamiento de la probeta con 4 anillos de fibra-epoxi, en la Figura 19 se evidencia un cambio en la pendiente de la curva, indicando un aumento en el módulo de elasticidad debido al confinamiento aportado por los anillos de fibra-epoxi del 51%.

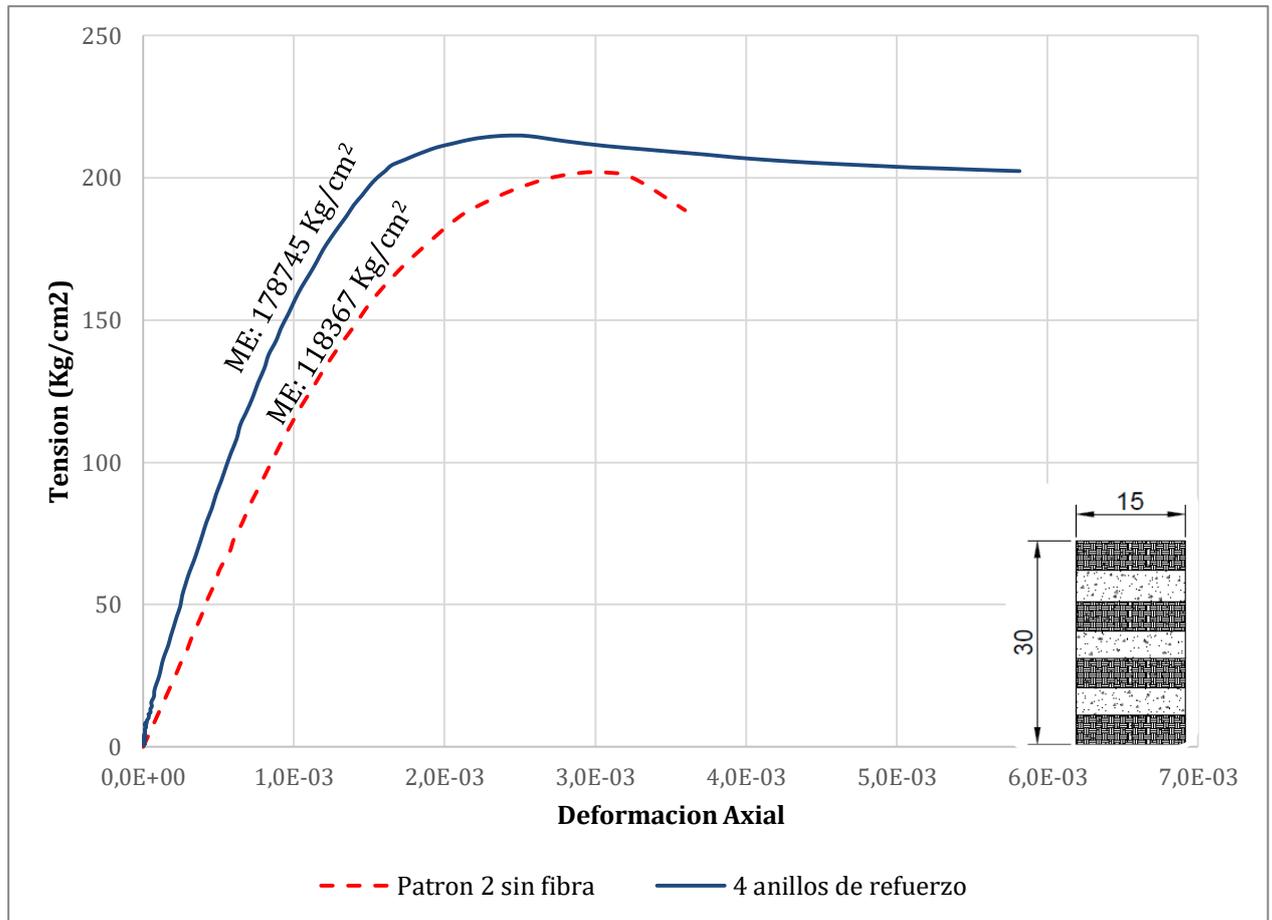


Figura 19. Gráfica Tensión - Deformación Axial probeta patrón 2 y con 4 anillos.

Siguiendo esta misma línea, los aportes de confinamiento brindados por los anillos luego que el concreto fallara, permitieron un aumento en la ductilidad y absorción de energía del 61.75% y 131.72% respectivamente, al comparar con la muestra Patrón 2, muestra que corresponde al confinamiento con 4 anillos.

Tabla 6. Porcentaje de ganancia 4 anillos - Patrón 2.

Número de anillos	Ganancia respecto al Patrón 2			
	Resistencia	Modulo Elasticidad	Ductilidad	Energía
4	7,00%	51,00%	61,75%	131,72%

La variación porcentual de las ganancias obtenidas entre el confinamiento de 4 anillos – 5 anillos y 3 anillos – 4 anillos se muestran en las tablas 7 y 8 respectivamente.

**Tabla 7.** Porcentajes de variación de ganancias entre 4 anillos - 5 anillos.

Variación del % de ganancia 4 Anillos respecto a 5 Anillos			
Resistencia	Módulo Elástico	Ductilidad	Energía
131.02%	205.93%	4.70%	44%

**Tabla 8.** Porcentajes de variación de ganancia entre 3 anillos - 4 anillos.

Variación del % de ganancia 3 Anillos respecto a 4 Anillos			
Resistencia	Módulo Elástico	Ductilidad	Energía
200.00%	-29.74%	245.10%	182%



**Figura 20.** Probetas con 4 anillos ensayadas.

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2 Relación Tensión/Tensión Máxima - Deformación Axial/Deformación Axial Máxima

La Figura 21 muestra los valores relativos de tensiones con base en la tensión máxima de cada familia de probetas ensayadas, al igual que las deformaciones relativas a las máximas.

Se observa, en el caso de las probetas reforzadas con los anillos de fibra-epoxi un comportamiento muy similar entre ellos, esto debido a que el porcentaje de área confinada con anillos de fibra-epoxi es prácticamente constante en todos los patrones.

Tomando como referencia el 60% de tensión se puede notar como las probetas reforzadas disminuyen el porcentaje de deformación respecto al patrón en un 57%, evidenciando la capacidad de la fibra de disminuir las deformaciones transversales.

Dentro de este contexto, se observa como la ductilidad aportada por los anillos de fibra-epoxi permite que la probeta alcance la tensión máxima al 90% de la deformación axial, dejando un 10% extra de ductilidad relativa antes de la falla, comportamiento idéntico a los obtenidos en los miembros reforzados con manto de fibra de carbono de 2/3 de la altura total obtenido por (Gonzales 2017).

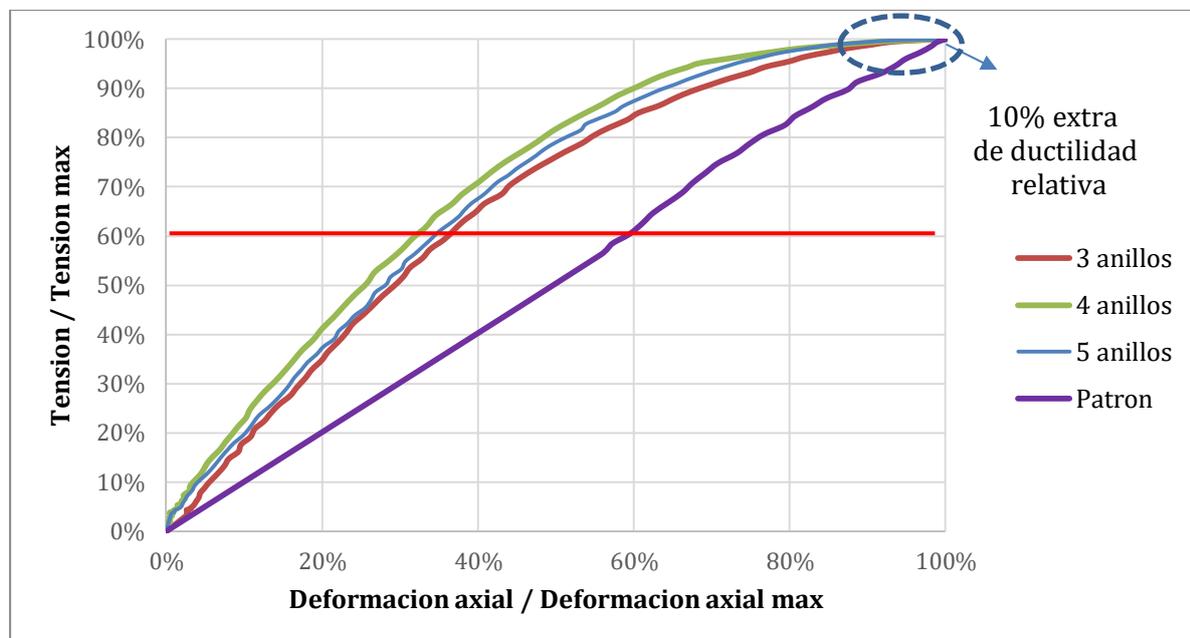


Figura 21. Gráfico Tensión / Tensión Max - Deformación Axial / Deformación Axial Max.

### 4.3 Deformación Transversal

Para analizar el comportamiento Tension-Deformacion Transversal se consideró como deformación negativa el aumento de volumen en la probeta sometida a tensiones de compresión.

#### 4.3.1 Muestra Patrón (Referencial)

Al instante de comenzar la aplicación de la carga, la probeta comienza a deformarse por la reagrupación de las partículas que se encuentran en reposo, manteniéndose el incremento de las deformaciones constantes, como se muestra en la Figura 22, una vez alcanzada la tensión máxima del miembro la pendiente de la curva cambia abruptamente debido a la aparición de grietas en la interface Mortero-Agregado incrementando las deformaciones transversales hasta llegar a la falla.

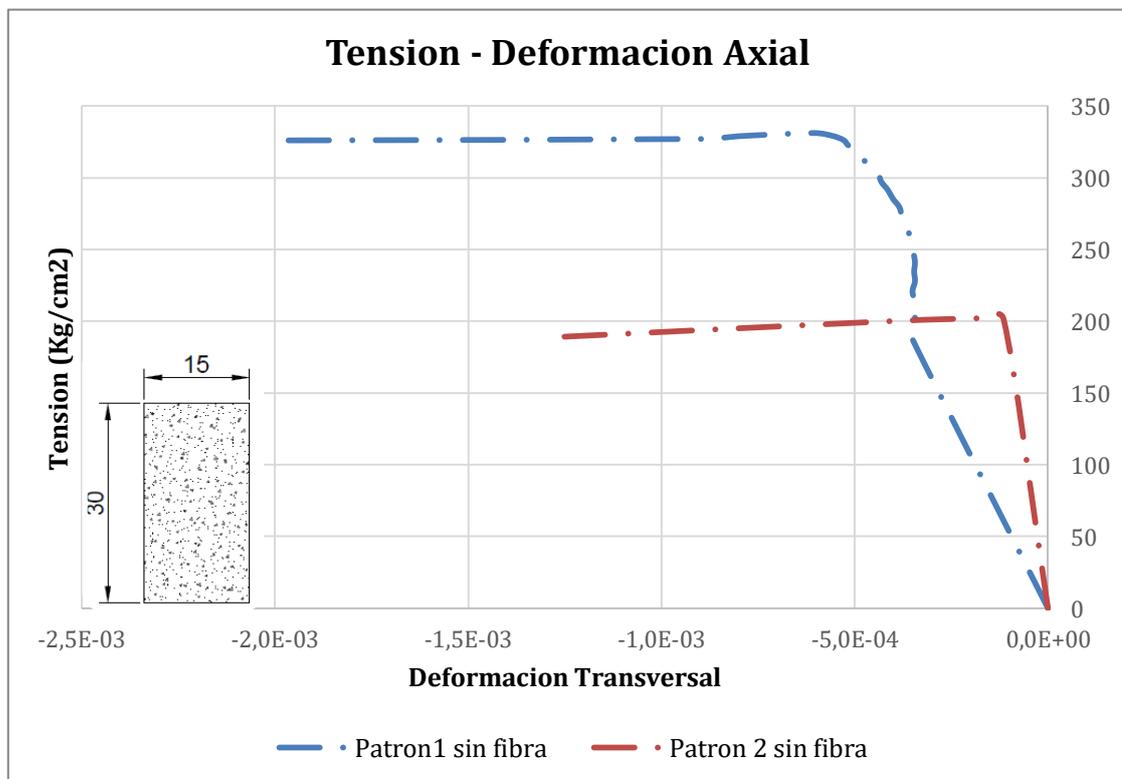


Figura 22. Gráfico Tensión - Deformación Transversal de probeta patrón 1 y probeta patrón 2.

#### 4.3.2 Confinada con 3 anillos de 1/5 de la altura total

En la Figura 23, se observa el comportamiento de la probeta con 3 anillos de fibra-epoxi respecto al Patrón 1. Se aprecia que al inicio de aplicación de la carga el miembro confinado no presenta deformaciones ya que las mediciones fueron tomadas sobre el anillo central de fibra y esta limita las deformaciones transversales, luego a mayores tensiones cercanas a  $150\text{Kg/cm}^2$  las deformaciones comienzan a crecer hasta alcanzar un comportamiento similar al del Patrón.

El miembro reforzado con 3 anillos presenta un comportamiento mucho más dúctil que el Patrón 1, apreciándose un aumento en las deformaciones a la tensión máxima y última del 67 y 175% respectivamente; Además el 71% de las deformaciones ocurren una vez alcanzada la tensión máxima, gracias al aporte de los anillos de Fibra – Epoxi capaces de resistir las tensiones generadas por las deformaciones.

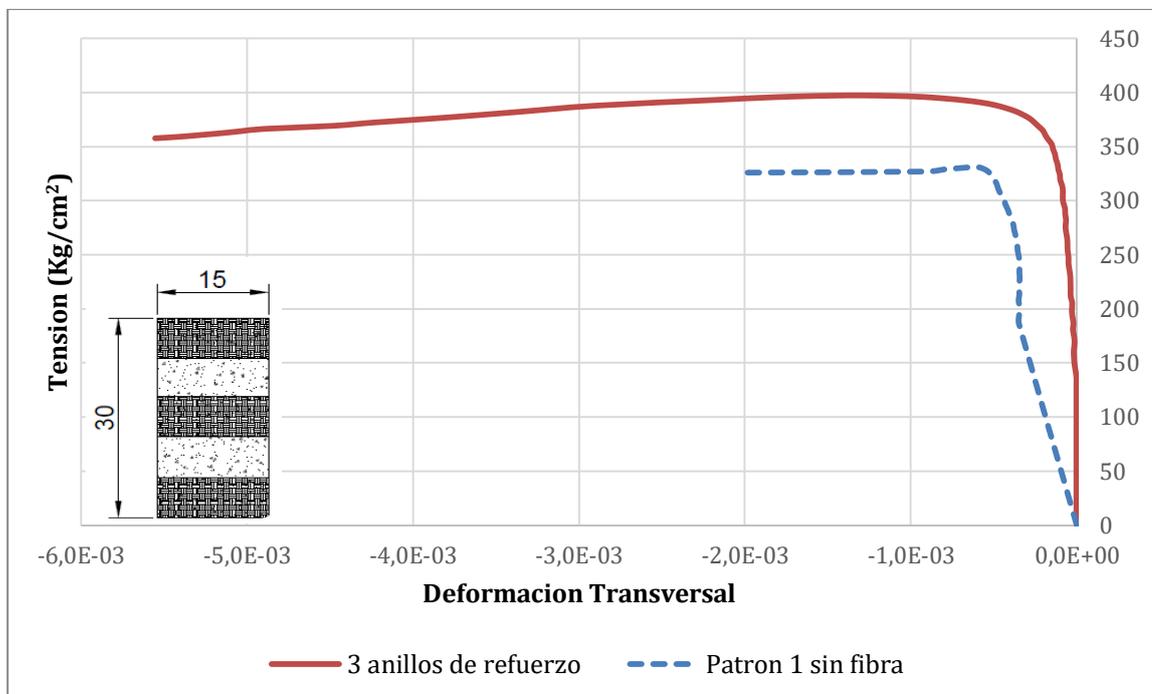


Figura 23. Gráfico Tensión - Deformación Transversal de probeta patrón 1 y con 3 anillos.

### 4.3.3 Confinada con 5 anillos de 1/9 de la altura total

En la Figura 24, se puede observar como las curvas de los miembros reforzados con anillos siguen una misma tendencia al inicio de la aplicación de la carga, ya que los anillos restringen las deformaciones transversales hasta ciertos niveles de deformación. Adicionalmente se puede apreciar como la curva de la probeta con 5 anillos de refuerzo cambia bruscamente a tensiones menores respecto al miembro con 3 anillos, debido a que las áreas expuestas por los 5 anillos están ubicadas en los puntos de mayor deformación.

En el mismo contexto, luego de alcanzada la tensión máxima el concreto ya no aporta resistencia, apreciándose una disminución en las deformaciones a la tensión máxima y última del 51 y 42%, respecto al miembro de 3 anillos de refuerzo.

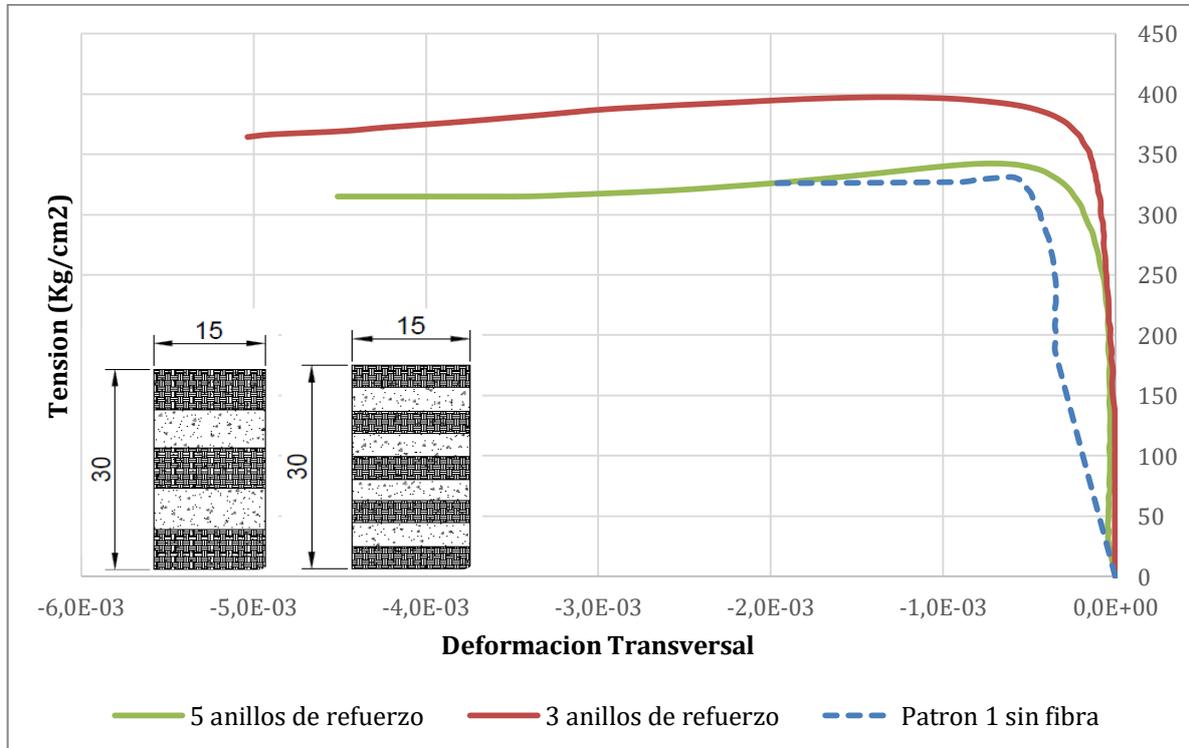


Figura 24. Gráfico Tensión - Deformación Transversal patrón 1, con 4 anillos y con 2 anillos.

#### 4.3.4 Confinada con 4 anillos de 1/7 de la altura total

Al evaluar la Figura 25, se aprecia como el miembro con 4 anillos de fibra-epoxi se deforma a mayor nivel de cargas que el Patrón 2, esto se debe a que la cantidad de anillos y su distribución genera una menor área de concreto expuesto y una fácil transmisión de esfuerzos hacia los anillos. Además, se puede observar que se produjo incremento en la variación de deformación máxima transversal respecto al patrón 2 del 130%, haciendo evidente el comportamiento confinante antes de producirse la falla.

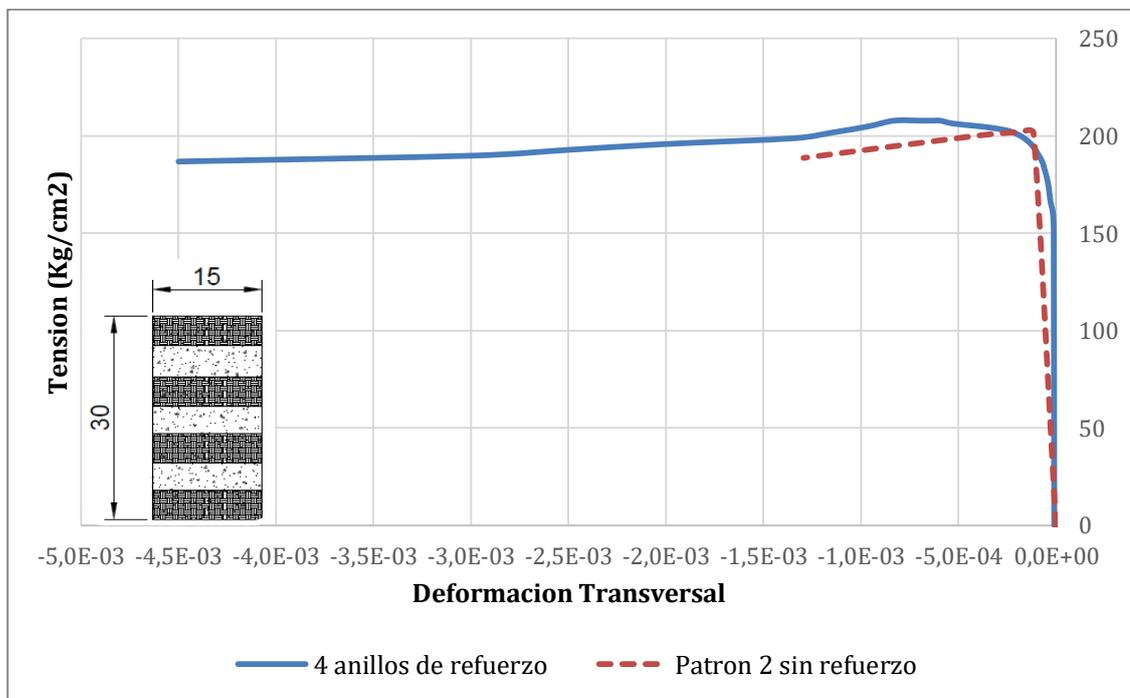


Figura 25. Gráfico Tensión - Deformación Transversal de patrón 2 y con 4 anillos.

#### 4.4 Tensiones en la matriz Fibra-Epoxi

Las tensiones transmitidas a la matriz fibra-epoxi se generaron debido a las deformaciones transversales a lo largo del ensayo, para ello se utilizó la relación de Poisson con un valor de 0,2 valor típico usado en concreto; luego dichas tensiones se transmitieron a la matriz fibra-epoxi considerada como un tubo de pared delgada.

Se obtuvo que la tensión transmitida a la matriz fibra-epoxi a la máxima tensión de compresión resultó 30.079 Kgf/cm<sup>2</sup> para el confinamiento con 3 anillos, 23.976 Kgf/cm<sup>2</sup> para el confinamiento con 4 anillos y 35.078 Kgf/cm<sup>2</sup> para el confinamiento con 5 anillos de fibra. Al analizar la Figura 26, se puede observar que las tensiones absorbidas por la matriz fibra-epoxi aumentan a medida que el grosor de los anillos disminuye como se puede evidenciar al comparar el confinamiento con 3 y 5 anillos, esto debido a que las tensiones generadas se concentran en una menor área de fibra disminuyendo así la tensión máxima que soporta la probeta; por otro lado las tensiones en el confinamiento de 4 anillos son menores, esto se debe que con esa configuración de anillos el centro se encuentra sin confinamiento, por lo que las tensiones que allí se generan no son absorbidas por la fibra disminuyendo el aporte de la fibra y resistencia de la probeta.

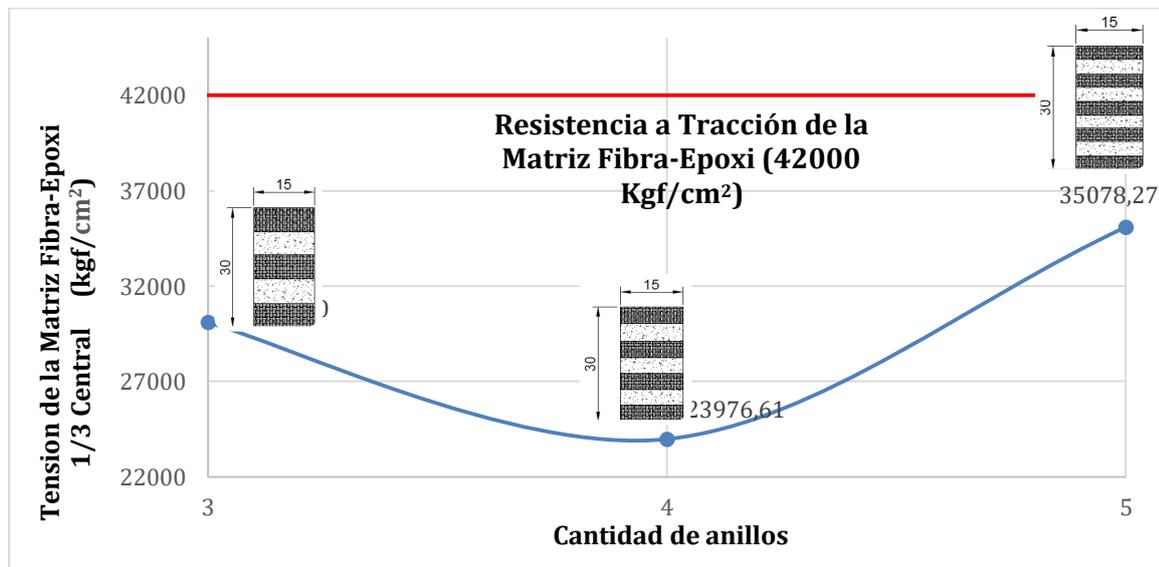
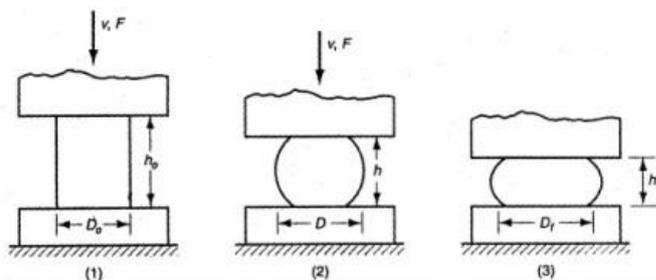


Figura 26. Gráfico Tensión en la Matriz Fibra-Epoxi - Cantidad de anillos.

Teóricamente se conoce que las deformaciones transversales de un cilindro a compresión varían a lo largo de su longitud, aumentando considerablemente en la parte central como se muestra en la Figura 27.



**Figura 27.** Comportamiento a compresión Fuente: [www.http://campus.fi.uba.ar](http://campus.fi.uba.ar)

Este comportamiento conlleva a que los anillos de fibra-epoxi que se encuentren en el sector central absorban mayores tensiones, ya que dependen directamente de las deformaciones a lo largo de la probeta las cuales se generan al aplicar tensiones de compresión; en este sentido se pudo observar en los videos que las grietas aparecían en zonas cercanas al centro, en el caso del confinamiento con 4 anillos en la cual la parte central se encontraba sin confinamiento, las grietas que llevaron a la falla comenzaron en este sector, mientras que en el caso de los confinamiento con 3 y 5 anillos, las grietas comenzaron en las zonas sin confinamiento localizadas inmediatamente después del anillo de fibra-epoxi central. Por otro lado, en las probetas ya ensayadas se observa como los anillos que presentaron roturas son los ubicados en la zona central.



**Figura 28.** Probetas ensayadas.

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 29, se puede observar una relación entre el área de fibra en el tercio central de la probeta y la ganancia de resistencia obtenida respecto al patrón sin confinamiento. Al analizar esta curva se nota que el porcentaje de ganancia de resistencia aumenta a medida que el tercio central de la probeta se encuentra con una mayor área de confinamiento, lo que hace notar lo crítica que es esta área para aumentar las resistencias a tensiones de compresión. Por otro lado, se puede observar que la variación de resistencia entre el confinamiento de 5 y 4 anillos es menor que entre el confinamiento de 4 y 3 anillos, a pesar de que el área aumenta en mayor medida en el primero, esto se debe a que el centro de la probeta con la configuración de 4 anillos se encuentra sin confinamiento, razón por la que la fibra absorbe menos tensiones disminuyendo así la resistencia de la probeta.

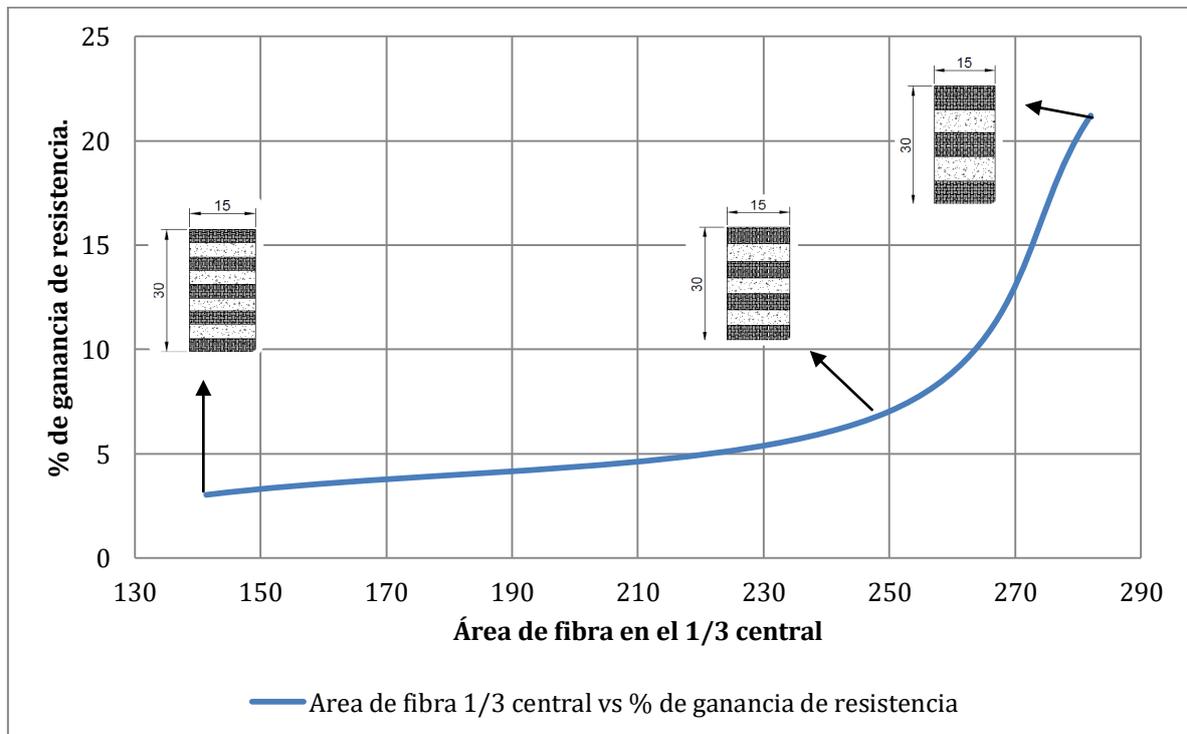
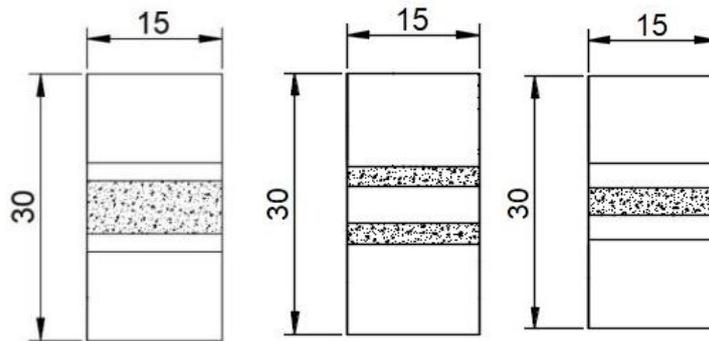


Figura 29. Gráfico % de ganancia de resistencia - Área de fibra en el tercio central de la probeta.

Tabla 9. Área de fibra en el tercio central.

Área de fibra en el tercio central		
Confinamiento con 3 anillos	Confinamiento con 4 anillos	Confinamiento con 5 anillos
282.74	249.76	141.37



**Figura 30.** Área de fibra en el tercio central. Fuente: Elaboración Propia

Por otra parte, (Gonzales 2017) determinó una ecuación que describe la curva de ganancia de resistencia a compresión axial con base a la altura confinada en la zona central de la probeta. El confinamiento con tres (3) anillos de refuerzo representa un área confinada de 60% del área superficial total de la probeta, al aplicar la ecuación antes mencionada y suponiendo que todo este porcentaje de confinamiento se encuentra en la parte central, se obtuvo una ganancia de resistencia teórica de 7%, valor menor al 21.21% obtenido en los ensayos de la probeta confinada con 3 anillos; demostrando que esta distribución genera un mejor confinamiento. Se pudo observar en los ensayos que los anillos en los extremos limitan la propagación de grietas manteniéndolas en la zona sin confinar hasta la falla, evitando así su propagación desde las caras de la probeta, esto genera a una mayor ganancia en términos de ductilidad y resistencia.

## 4.5 Relación Tensión/Tensión Máxima – Variación Volumétrica

### 4.5.1 Muestra patrón (Sin confinamiento)

En las figuras 31 y 32, se observan curvas típicas de variación volumétrica de las muestras patrón (1 y 2) sometidas a cargas de compresión monotonías, la variación en la geometría del miembro indica un reacomodo de partículas debido a las deformaciones axiales y transversales.

A tensiones cercanas a la máxima la curva de variación volumétrica sufre un cambio brusco de dirección indicando la propagación generalizada de grietas; momento en el cual las deformaciones transversales pasan a ser mayores que las deformaciones axiales, provocando un aumento volumétrico en el miembro.

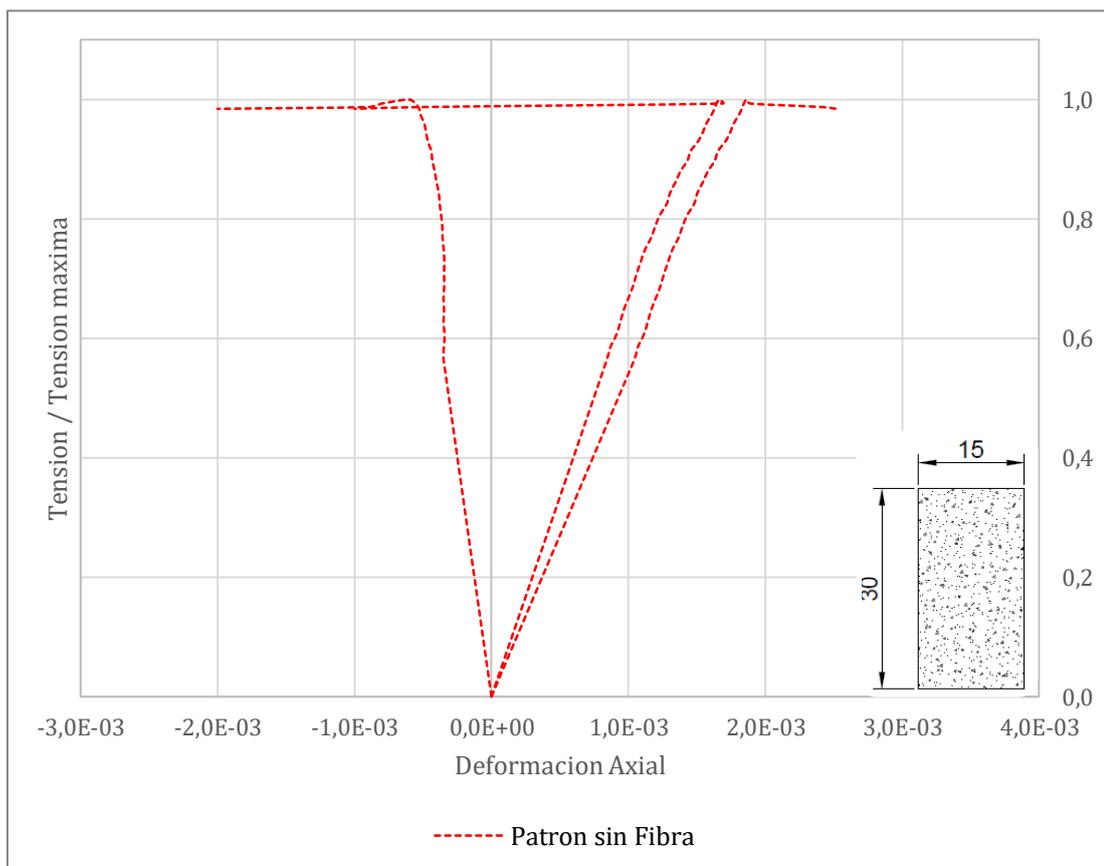


Figura 31. Gráfico Variación Volumétrica Patrón 1

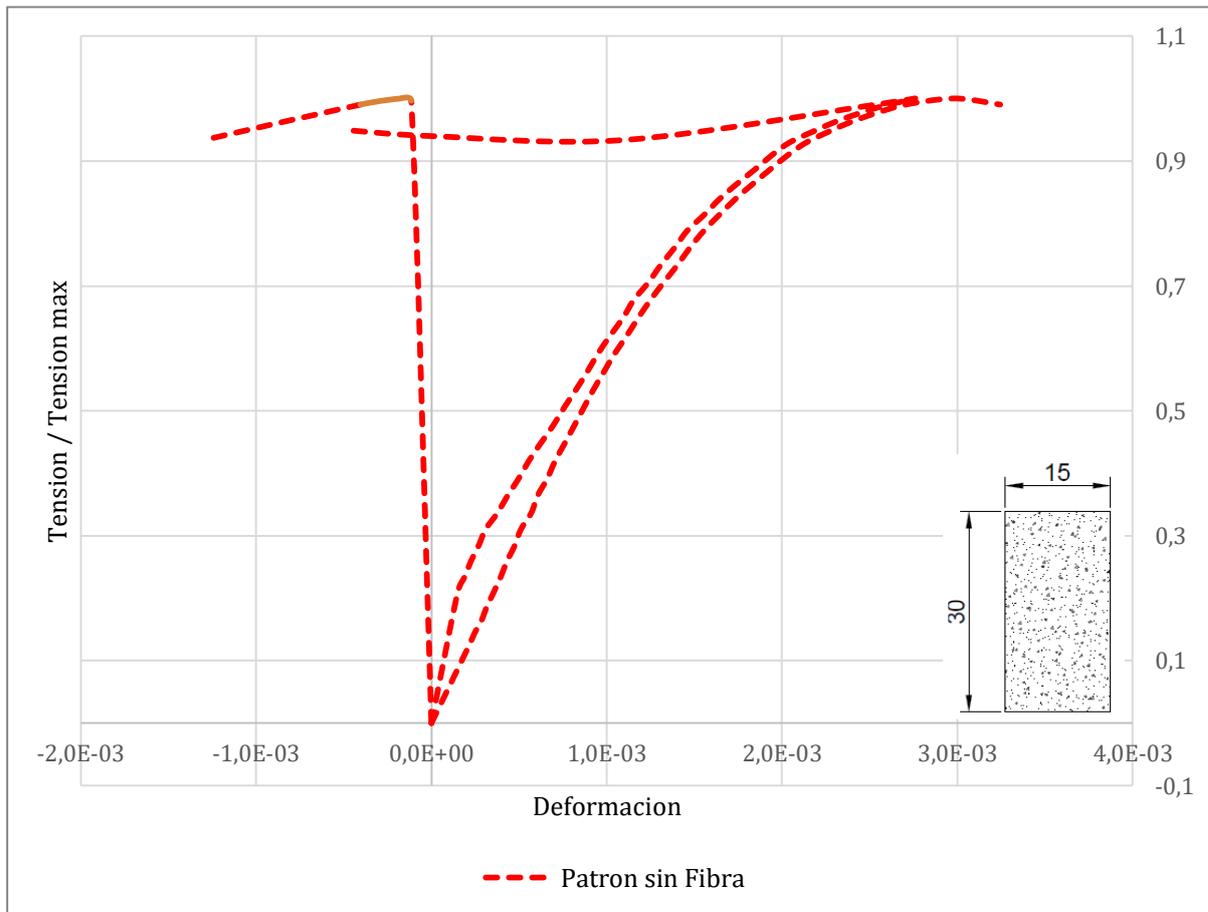
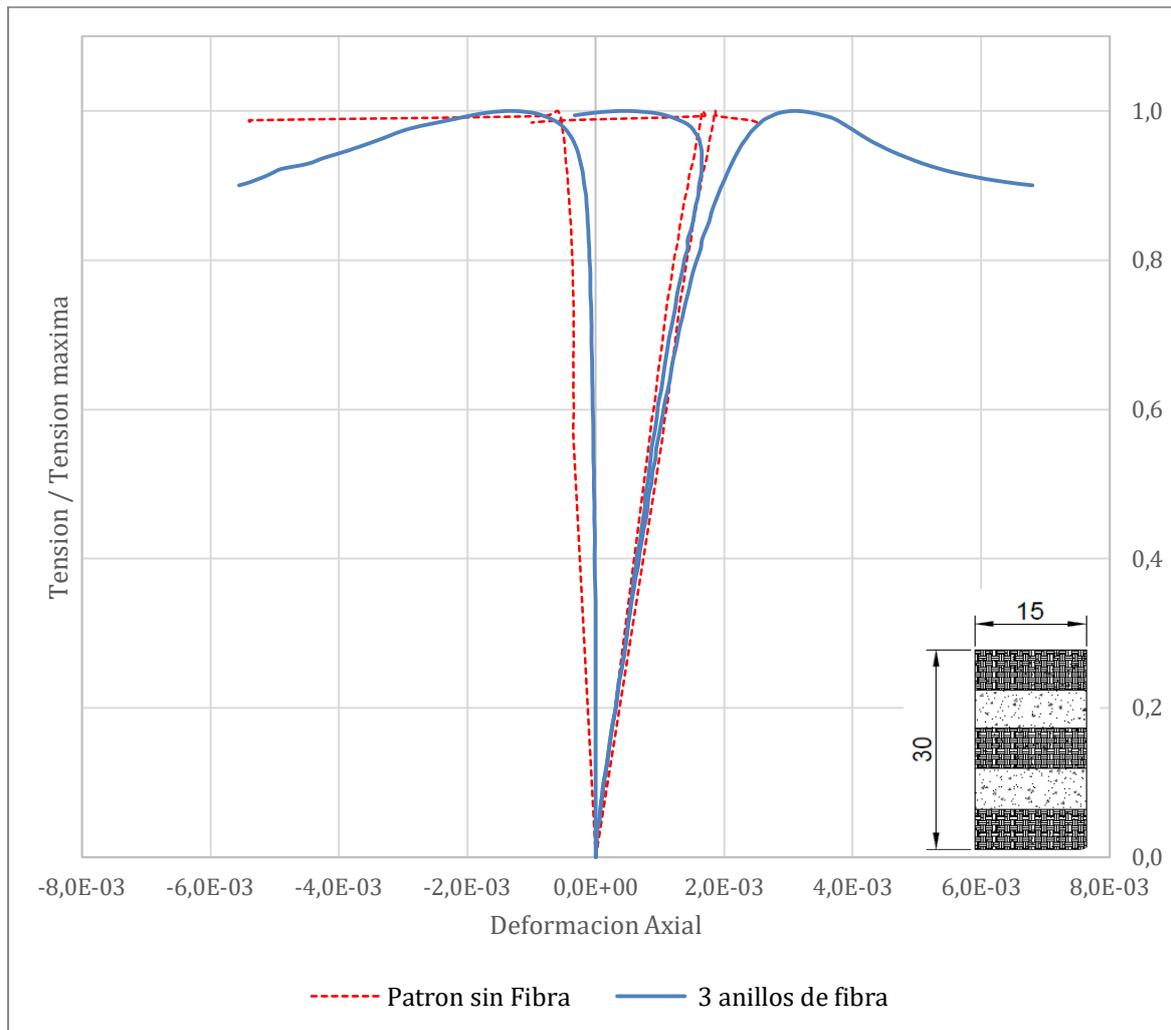


Figura 32. Gráfico Variación Volumétrica patrón 2.

#### 4.5.2 Confinada con 3 anillos de 1/5 de la altura total

Analizando la Figura 33, que corresponde al miembro con 3 anillos de refuerzo, se observó al inicio de aplicación de la carga un comportamiento diferente en la variación volumétrica de la muestra Patrón 1, debido a la restricción de las deformaciones transversales otorgadas por los anillos de fibra; el cambio de dirección de la curva se genera a tensiones menores que el de la muestra Patrón, señalando la propagación de grietas internas en el concreto, por lo cual, las tensiones posteriores son absorbidas por los anillos de fibra manteniendo confinado al miembro.



**Figura 33.** Gráfico Variación Volumétrica Patrón 1 y con 3 anillos.

#### 4.5.3 Confinada con 5 anillos de 1/9 de la altura total

Se evaluó en la figura 34, el comportamiento de la probeta con 5 anillos de refuerzo respecto al Patrón 1, donde se observó como la curva de variación volumétrica se mantuvo pegada a la curva de deformación axial durante las cargas iniciales, posteriormente al llegar al 45% de la carga máxima se separó producto del aumento en magnitud de las deformaciones transversales. Apreciando un comportamiento similar al de las probetas con 3 y 4 anillos de fibra-epoxi.

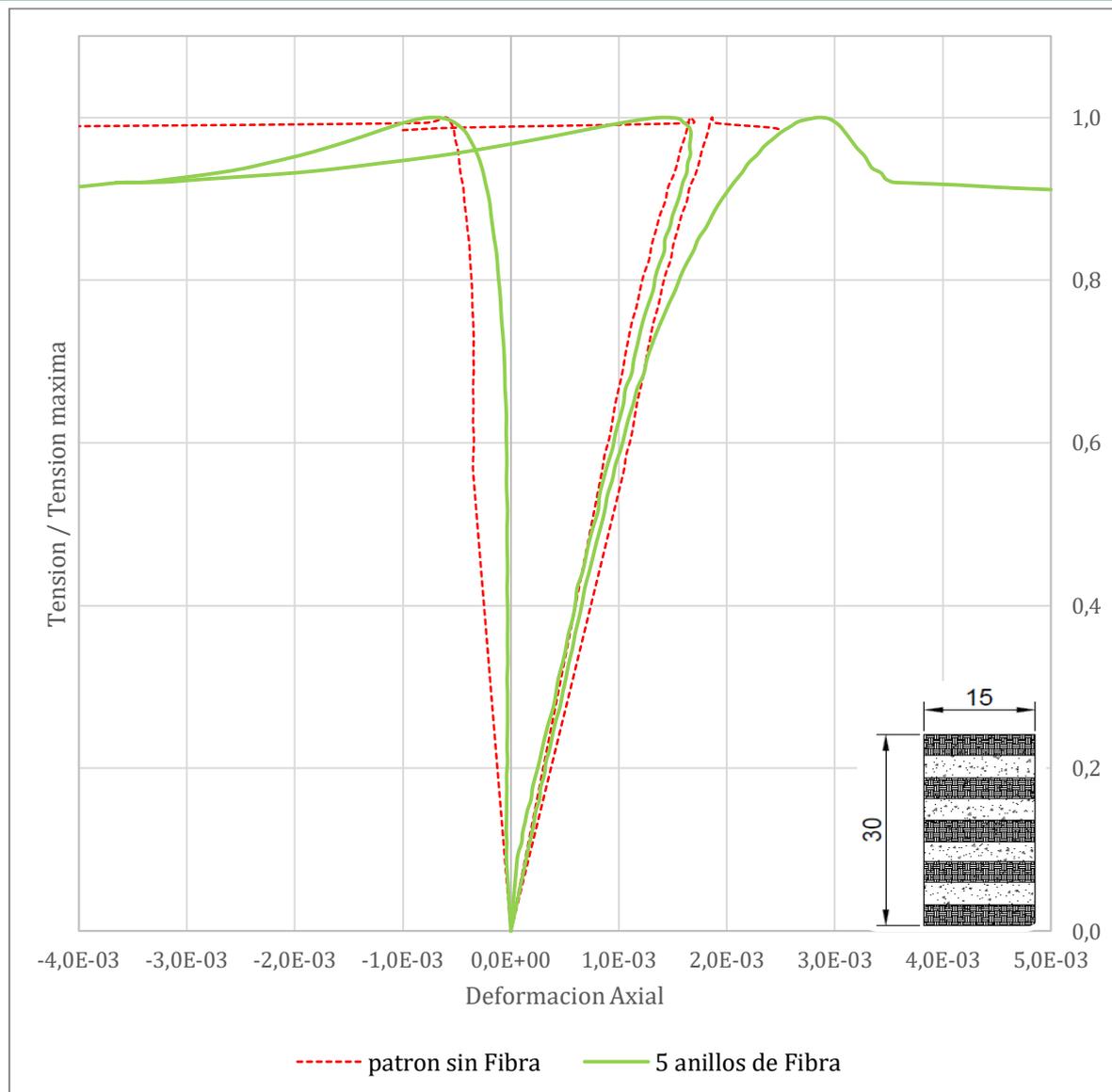


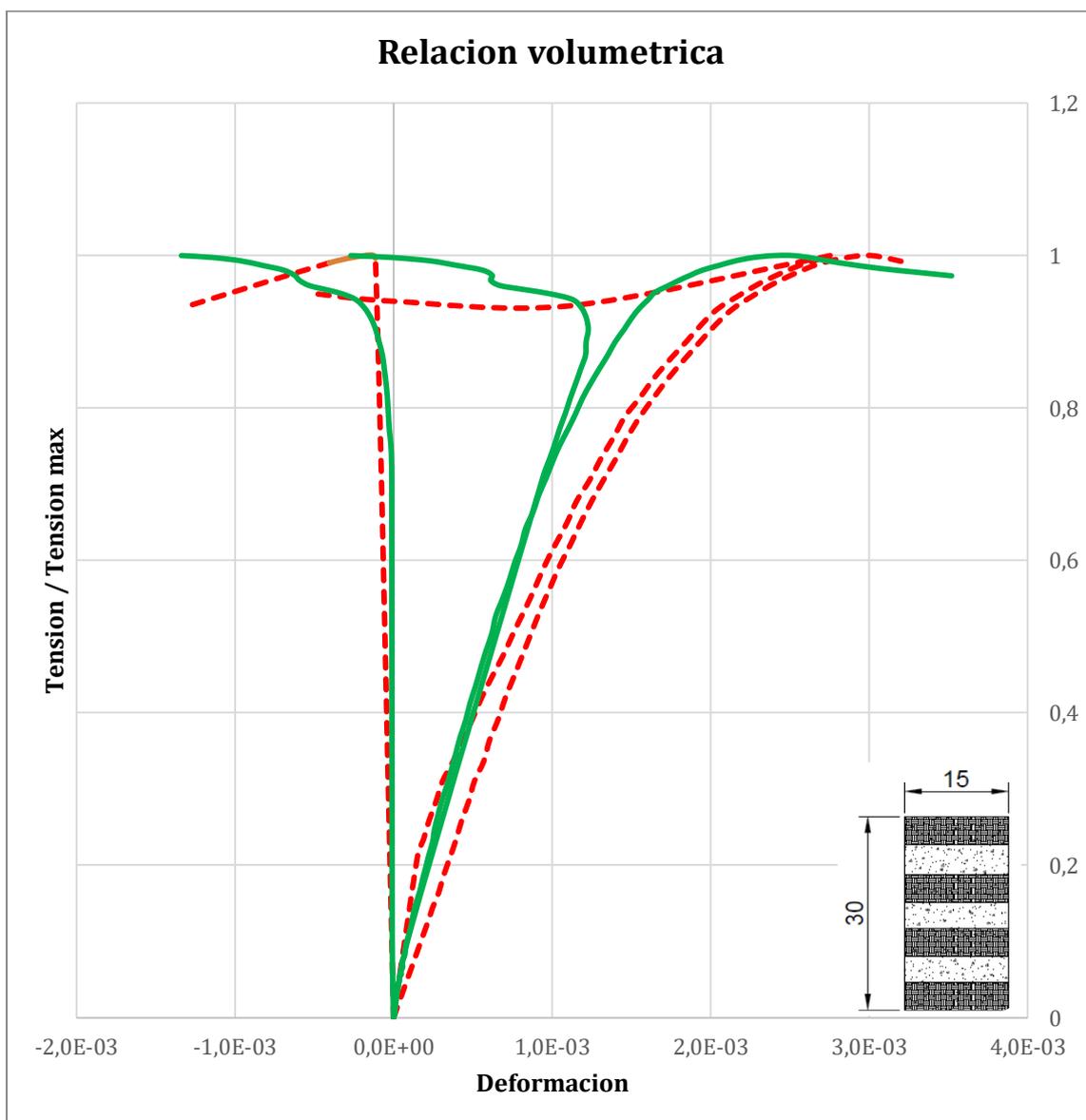
Figura 34. Gráfico Variación volumétrica patrón 1 y con 5 anillos

#### 4.5.4 Confinada con 4 anillos de 1/5 de la altura total

En la Figura 35, se comparó el miembro con 4 anillos de refuerzo con la muestra Patrón 2, se aprecia como la curva de variación volumétrica coincide con la curva de deformaciones axiales a bajas tensiones, debido al aporte de confinamiento que brindan los anillos de fibra-epoxi impidiendo las deformaciones transversales; luego del 60% de la carga máxima, se observa una mayor pendiente que la obtenida en el

ensayo del Patrón 2, mostrando menores deformaciones axiales a medida de que las tensiones aumentan.

A tensiones cercanas a la máxima la tendencia cambió, esto debido a que a partir del 90% de carga máxima, el incremento de las deformaciones transversales fue mayor a las axiales hasta que se generó la falla, momento en el cual la fibra comenzó a absorber mayor cantidad de la tensión, ya que el concreto presenta grietas internas.



**Figura 35.** Gráfico Variación Volumétrica Patrón 2 y con 4 anillos

---

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

La investigación realizada permitió demostrar la influencia del confinamiento de los anillos de fibra-epoxi sobre el comportamiento mecánico de probetas cilíndricas de concreto sometidas a tensiones de compresión.

En el caso con 3 anillos de fibra-epoxi la ganancia en términos de resistencia fue del 21%, con un incremento de 36% en el módulo de elasticidad respecto al Patrón 1, adicionalmente un incremento en la ductilidad de 213.1% y en la energía absorbida 370,81 %. Se notan los aportes de los anillos de fibra-epoxi y la influencia que tienen sobre las propiedades mecánicas; admitiendo además deformaciones axiales fuera de los límites del concreto (intervalo no elástico). La deformación transversal inició luego de los 150Kg/cm<sup>2</sup> gracias al efecto de confinamiento, además las deformaciones incrementaron 175% y la deformación a tensión máxima fue 67% mayor, esto es posible debido al aporte de la fibra, aporte que continúa luego de que el concreto supera su límite de deformación.

Al comparar la configuración de 5 anillos con su respectivo Patrón referencial, esta distribución aportó una ganancia en términos de ductilidad de 59%, en la energía adicional de 88% y un aumento en el módulo de elasticidad de 17%. La resistencia resultó 340Kg/cm<sup>2</sup> lo que representa una ganancia de 3% en la capacidad resistente, valor despreciable al comparar la probeta con la configuración de 3 anillos de refuerzo; siguiendo esta línea el módulo de elasticidad disminuye 14.11%, la ductilidad 60% y la energía absorbida 56.86%. También se aprecia una disminución en las deformaciones transversales a la tensión máxima y última del 51 y 42% respecto al miembro de 3 anillos de refuerzo, esto debido a que el área de fibra en el tercio central de la probeta es

menor que el de las probetas reforzadas con 3 y 4 anillos, lugar donde se generan las mayores deformaciones transversales a tensiones de compresión axial, demostrando su incidencia en la disminución de las propiedades mecánicas del miembro.

Para el miembro con 4 anillos de refuerzo la ganancia en resistencia fue de 7% respecto al Patrón 2, también se tuvo un aumento del módulo elástico y ductilidad adicional aportada por los anillos de fibra de 51% y 61.75% respectivamente, la energía adicional aumento un 132% y la deformación transversal 130% gracias al efecto confinante de la fibra. Sin embargo, se evidencia una disminución en los aportes de los anillos de fibra-epoxi al colocar la configuración de cuatro (4) anillos, debido a que la zona central de la probeta no fue confinada y el área en el 1/3 central fue menor a la de la configuración con 3 anillos de fibra. Al comparar este confinamiento con el de 3 anillos se observa que la ganancia de resistencia disminuye 67.67%, lo mismo ocurre con la ganancia de ductilidad que disminuye 71% y la energía adicional absorbida 64%.

Por tanto, colocar un patrón de refuerzo de fibra-epoxi con menor área de recubrimiento en el tercio central evita aprovechar al máximo las propiedades mecánicas de los anillos, principalmente los aportes en capacidad resistente y ductilidad. Sin embargo, se llegó a la conclusión que las porciones de fibra fuera del tercio central aportan una parte del confinamiento al miembro evitando la propagación generalizada de grietas, siendo la configuración más eficiente la de 3 anillos de fibra-epoxi, obteniendo el doble en resistencia y ductilidad respecto al patrón de 2/3 de recubrimiento en el centro de la probeta (Gonzales 2017).

---

## 5.2 Recomendaciones

Se recomienda la utilización del confinamiento con 3 anillos de fibra de carbono de  $1/5$  de la altura total, de esta manera se obtienen importantes ganancias en resistencia y ductilidad

Retomar los estudios con distintas configuraciones de anillos, manteniendo constante su grosor y de esta manera determinar con mayor exactitud las propiedades que cada patrón ofrece.

Ampliar las investigaciones realizando distintos miembros no circulares con refuerzo estructural que se asemejen más a lo que es una columna, además de aumentar la altura para así analizar los efectos de la esbeltez.

Realizar estudios sobre miembros cortos de concreto estructural variando los grosores de los anillos en los extremos manteniendo una altura constante del anillo central, para poder determinar el verdadero aporte de estos anillos en el comportamiento de la probeta.

---

## BIBLIOGRAFIA

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

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

**González, C.** *Aspectos fundamentales del concreto reforzado*. México, 1995.

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

**González W., Malabet J.** *Evaluar Propiedades Mecánicas de Miembros Cortos de Concreto Estructural Sometidos a Tensiones de Compresión al estar Envueltos en Mantos de Fibra de Carbono*. Caracas, 2017, 51 páginas. Tesis de grado (Ingeniería Civil). Universidad Católica Andrés Bello. Facultad de Ingeniería.

**Das Neves D., Frade C.** *Evaluación del Comportamiento de Vigas de Concreto Armado Reforzado con Fibras de Carbono, Ensayadas a Corte*. Caracas, 2013, 72 páginas. Tesis de grado (Ingeniería Civil). Universidad Católica Andrés Bello. Facultad de Ingeniería.

**Reporte del comité ACI 440.** *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures*. ACI 440.2R-08. U.S.A. 2008.