



FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DE EXOREFUERZO EN MANTO PET SOBRE EL  
COMPORTAMIENTO DE PROBETAS NORMALIZADAS DE CONCRETO SOMETIDAS  
A TENSIONES DE COMPRESIÓN**

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

Realizado por: Luisana Matheus Felipe  
Shirley Ninibeth Medina Duarte

Profesor guía: Ing. MSc. Guillermo Bonilla

Caracas, junio de 2019



FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DE EXOREFUERZO EN MANTO PET SOBRE EL  
COMPORTAMIENTO DE PROBETAS NORMALIZADAS DE CONCRETO SOMETIDAS  
A TENSIONES DE COMPRESIÓN

Este jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido con  
el resultado: DIECINUEVE

JURADO EXAMINADOR

Firma: [Signature] Firma: [Signature] Firma: [Signature]  
Nombre: Javier Rodríguez Nombre: Guillermo Bonilla Nombre: Guillermo Benítez



Realizado por: Luisana Matheus Felipe  
Shirley Ninibeth Medina Duarte  
Profesor guía: Ing. MSc. Guillermo Bonilla

Caracas, junio de 2019

---

## SINOPSIS

El presente estudio forma parte de líneas de investigación del Laboratorio de Materiales de Construcción y Tecnología del Concreto UCAB, como aporte al desarrollo de futuras normas COVENNIN. La investigación evalúa el comportamiento de probetas normalizadas de concreto, envueltos en manto de fibras PET (Politereftalo de Etileno), variando el área confinada y la cantidad de capas del exo-refuerzo, al ser sometidas a tensiones de compresión.

Fueron desarrolladas veinte (20) probetas normalizadas de concreto, siendo cuatro (4) miembros referenciales sin exo-refuerzo que permitieron evaluar las correspondientes comparaciones. Las probetas restantes se reforzaron con manto PET bajo la siguiente configuración:

- Cuatro (4) especímenes, exo-reforzados con 2 capas en  $2/3$  de la altura en la zona central.
- Cuatro (4) especímenes, exo-reforzados con 3 capas en  $2/3$  de la altura en la zona central.
- Cuatro (4) especímenes, exo-reforzados con 2 capas en la totalidad de su altura.
- Cuatro (4) especímenes, exo-reforzados con 3 capas en la totalidad de su altura.

Con la configuración de patrones estudiados, se obtuvo que la altura de confinamiento incide en la resistencia y el número de capas realiza un aporte en el aumento del módulo de elasticidad.

Se observó que el comportamiento del manto PET al estar sometido a tensiones de compresión tiende a desprenderse, sin romper como sucede con la fibra de carbono y vidrio. Esto posiblemente motivado a que se utilizó POLY – 3703N de Vitrofibras como material adherente

## ÍNDICE

INDICE DE FIGURAS .....	5
ÍNDICE DE TABLAS .....	6
<b>CAPITULO I PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>7</b>
1.1 Planteamiento del problema .....	7
1.2 Antecedentes.....	8
1.3 Objetivo de la investigación .....	9
1.3.2 Objetivos Específicos.....	9
1.4 Alcance y Limitaciones.....	9
<b>CAPITULO II MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>10</b>
2.1 Fundamentos teóricos.....	10
2.1.1 Politereftalato de Etileno (PET).....	10
2.1.2 Concreto.....	10
2.1.3 Material Compuesto.....	11
2.1.4 Comportamiento del concreto a tensión de compresión.....	11
<b>CAPITULO III METODOLOGIA.....</b>	<b>13</b>
3.1 Naturaleza y tipo de investigación .....	13
3.2 Población .....	13
3.3 Muestra .....	13
3.4 Recolección de datos.....	13
3.5 Equipos de aplicación de carga.....	13
3.6 Variables estudiadas y unidades de trabajo.....	14
3.6.1 Variables dependientes.....	14
3.6.2 Variables independientes.....	14
3.6.3 Factores constantes.....	14
3.7 Materiales utilizados, propiedades, características y dosificaciones .....	14
3.7.1 Concreto.....	14
3.7.2 Resina Epoxi.....	15
3.7.3 Politereftalato de Etileno.....	15
3.8 Diseño experimental.....	16

---

3.9	Fase de ejecución .....	17
3.9.1	Documentación.....	17
3.9.2	Elaboración de Probetas.....	17
3.9.3	Elaboración de mantos PET.....	18
3.9.4	Colocación de mantos PET.....	20
3.9.5	Ejecución de ensayos.....	21
<b>CAPITULO IV RESULTADOS Y ANÁLISIS.....</b>		<b>22</b>
4.1	Comportamiento Tensión – Deformación Axial.....	22
4.1.1	Patrón referencial.....	22
4.1.2	Confinamiento en 2/3 de la altura en la zona central con 2 capas.....	23
4.1.3	Confinamiento en 2/3 de la altura en la zona central con 3 capas.....	24
4.1.4	Confinamiento en totalidad de la altura con 2 capas.....	25
4.1.5	Confinamiento en totalidad de la altura con 3 capas.....	25
4.2	Evaluación de la incidencia con base al número de capas.....	28
4.3	Evaluación de la incidencia con base s.....	29
<b>CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>30</b>
5.1	Conclusiones.....	30
5.2	Recomendaciones.....	31
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>32</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 2.1</b>	<b>CURVAS ESFUERZO-DEFORMACIÓN CILINDROS CARGADOS EN COMPRESIÓN UNIAXIAL</b>	
.....	.....	12
<b>FIGURA. 3.1</b>	<b>ENSAYOS DE BANDAS PET</b> .....	15
<b>FIGURA 3.2</b>	<b>GRAFICO TENSIÓN –DEFORMACIÓN AXIAL PROMEDIO DE BANDAS PET</b> .....	15
<b>FIGURA 3.3</b>	<b>CONFIGURACIÓN DE PATRONES</b> .....	16
<b>FIGURA 3 .4</b>	<b>FASES DE LA EJECUCIÓN DE PROBETAS</b> .....	17
<b>FIGURA 3.5</b>	<b>RECOLECCIÓN DE BOTELLAS PEPSI-COLA</b> .....	18
<b>FIGURA 3.6</b>	<b>FABRICACIÓN DE CORTADOR PET</b> .....	18
<b>FIGURA 3.7</b>	<b>ELABORACIÓN DE BANDAS PET</b> .....	19

---

---

FIGURA 3.8 MANTO PET.....	19
FIGURA 3.9 ELABORACIÓN DE MANTO PET .....	20
FIGURA 3.10 COLOCACIÓN DE MANTO PET.....	20
<b>FIGURA 3.11 EJECUCION DE ENSAYOS.....</b>	<b>16</b>
FIGURA 4.1 GRAFICO TENSIÓN – DEFORMACIÓN AXIAL PROMEDIO DE MIEMBROS PATRÓN.....	22
FIGURA 4.2 GRAFICO TENSIÓN – DEFORMACIÓN AXIAL DE LA CONFIGURACIÓN 2/3 X 2.....	23
<b>FIGURA 4.3 GRAFICO TENSIÓN – DEFORMACIÓN AXIAL DE LA CONFIGURACIÓN 2/3 X 3.....</b>	<b>24</b>
<b>FIGURA 4.3.1 DESPRENDIMIENTO DE BANDAS.....</b>	<b>24</b>
FIGURA 4.4 GRAFICO TENSIÓN – DEFORMACIÓN AXIAL DE LA CONFIGURACIÓN 3/3 X 2.....	25
FIGURA 4.5 GRAFICO TENSIÓN – DEFORMACIÓN AXIAL DE LA CONFIGURACIÓN 3/3 X 3.....	26
FIGURA 4.5.1 MUESTRA CONFIGURACION 3/3X3 .....	26
FIGURA 4.6 GRAFICO TENSIÓN – DEFORMACIÓN AXIAL DE CONFIGURACIONES EN ESTUDIO.....	27

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 3.1 DOSIFICACIÓN APLICADA.....	14
TABLA 3.2 PROPIEDADES DE RESINA UTILIZADA.....	15
<b>TABLA 4.1 PORCENTAJES DE GANANCIA RESPECTO AL PATRÓN REFERENCIAL.....</b>	<b>27</b>
<b>TABLA 4.2 PORCENTAJE DE GANANCIA EN RESISTENCIAS Y MÓDULOS DE ELASTICIDAD DE CONFIGURACIONES EN LA VARIABLE NÚMERO DE CAPAS .....</b>	<b>28</b>
<b>TABLA 4.2 PORCENTAJE DE GANANCIA EN RESISTENCIAS Y MÓDULOS DE ELASTICIDAD DE LAS CONFIGURACIONES EN LA VARIABLE ALTURA CONFINADA .....</b>	<b>29</b>

---

## CAPITULO I PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.1 Planteamiento del problema

La capacidad resistente de las estructuras de concreto depende principalmente de las propiedades de sus elementos (columnas y vigas) y las metodologías de ejecución de las estructuras. Si la calidad del concreto es deficiente las resistencias obtenidas serán inferiores a las de diseño, con lo cual se requerirá refuerzo estructural para el buen desempeño de la estructura y evitar daños y/o colapso.

El desarrollo de tecnologías de refuerzo estructural ha incrementado en los últimos años, buscando mejorar las propiedades mecánicas de los elementos. Se han desarrollado metodologías de alto y mediano costo con diversas dificultades en su aplicación, entre ellas se encuentra el refuerzo estructural con fibras de carbono y fibras de vidrio.

El refuerzo con fibras de carbono representa una buena opción en cuanto a la capacidad que aporta al elemento, aunque genera un costo económico alto. Por lo cual se presenta una posible alternativa de refuerzo estructural con manto de fibras PET (Politereftalato de Etileno) de material reciclado, teniendo éstas un costo monetario bajo que contribuye al desarrollo sostenible, sin embargo, éste no ha sido estudiado como exo-refuerzo. Para la aplicación de esta propuesta como nueva tecnología se desarrollarán los ensayos y estudios pertinentes para determinar su capacidad portante.

---

## 1.2 Antecedentes

Dentro de la investigación presente, se tomaron como referencia los siguientes estudios:

- **Malavé J, González W (2017).**

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

Tutor: Ing. Guillermo Bonilla.

La investigación permitió definir la incidencia de la altura de confinamiento con mantos de fibra de carbono sobre el comportamiento mecánico de miembros cortos de concreto estructural sujeto a tensiones de compresión axial. Obteniendo que, confinar 1/3 de la altura de un miembro no genera ningún aporte considerable para refuerzo, no incide en la resistencia; mientras que, el confinamiento de 2/3 de altura de un miembro aporta con respecto a la muestra patrón un 12% en resistencia, un incremento de 25.% en ductilidad, en la energía absorbida 70.8% y en deformaciones hasta 40.3%; para miembros con la totalidad de la altura confinada la tensión máxima incrementa con respecto a la muestra patrón 51.5%, presenta 240% más de ductilidad, 640.6% adicional de energía absorbida y en deformaciones hasta 591.9% más.

- **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.

La investigación se enfocó en el aporte que las resinas epóxicas ofrecen en la reparación de problemas presentes en estructuras de concreto armado, concluyendo que éstas poseen propiedades mecánicas superiores a las del concreto.

---

### 1.3 Objetivo de la investigación

#### 1.3.1 Objetivo General

Analizar la incidencia de exorefuerzo en manto PET sobre el comportamiento mecánico de probetas normalizadas en concreto estructural sometidas a tensiones de compresión.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Analizar la incidencia de la configuración de confinamiento en manto PET, sobre probetas normalizadas de concreto en la variable deformación axial, al estar sometidos a tensiones de compresión.
- Evaluar la incidencia de la configuración de confinamiento en manto PET, sobre probetas normalizadas de concreto en la variable número de capas.
- Analizar la incidencia de la configuración de confinamiento en manto PET, sobre probetas normalizadas de concreto en la variable altura confinada.

### 1.4 Alcance y Limitaciones

Los miembros se reforzaron con mantos PET, los cuales fueron adheridos con resina epoxi POLY – 3703N de Vitrofibras de Venezuela.

Los miembros de concreto fueron elaborados para resistencias de  $210 \text{ kgf/cm}^2$ , con curado del concreto de 28 días y 10 días más para curado de adherencia del manto PET, para su posterior ensayo de compresión hasta la falla.

---

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Fundamentos teóricos

##### 2.1.1 Politereftalato de Etileno (PET)

El tereftalato de polietileno, politereftalato de etileno o polietileno tereftalato, conocido por sus siglas en inglés PET (polyethylene terephthalate), es un polímero lineal que se obtiene mediante un proceso de polimerización de ácido tereftálico y tereftalato de dimetilo y etilen glicol. En general se caracteriza por su elevada pureza, alta resistencia y tenacidad, sin embargo, se presentan otras características relevantes:

- Buen comportamiento frente a esfuerzos permanentes.
- Alta Resistencia al desgaste.
- Presenta alta rigidez y dureza
- Totalmente reciclable pero no es biodegradable.

El PET es un tipo de plástico muy conocido por su uso en la producción de una gran diversidad de envases de bebidas y fibras textiles, fue patentado como un polímero para fibra en 1941, comenzando su producción comercial en 1955 y en 1976 se inicia su utilización para fabricar envases. *(Asociación Nacional del Envase de PET, 2005)*

##### 2.1.2 Concreto

Material constituido por cemento, agregado fino, agregado grueso y agua, materias primas que son relativamente abundantes en la naturaleza. En construcción se considera que el concreto es el segundo material de mayor uso por el hombre, después del agua. El concreto es un material constituido por dos partes: una es un producto pastoso y moldeable constituido por agua y un aglomerante (cemento), el cual endurece con el tiempo; y la otra parte son trozos pétreos que quedan englobados en la pasta. El agua da fluidez a la mezcla y reacciona químicamente con el cemento generando así el endurecimiento de la mezcla. *(Porrero, Grases, & Velazco 2014)*

---

Entre las diversas características y beneficios que posee el concreto, existen dos características principales de mayor consideración: la primera es la consistencia o grado de fluidez del material en estado fresco y la segunda es el grado de endurecimiento o resistencia que es capaz de adquirir el concreto. La fluidez suele medirse con ensayos que evalúan el grado de plasticidad de la mezcla y la resistencia se determina por medio de ensayos mecánicos de compresión o tracción sobre probetas normalizadas. (Porrero, Grases, & Velazco 2014)

### 2.1.3 Material Compuesto

En ciencia de materiales e ingeniería, un material compuesto se forma por la unión de dos o más constituyentes que permanecen separados mecánicamente y poseen propiedades físicas y químicas claramente distintas, al ser combinados forman un material que reúne propiedades adicionales a los materiales originales y no es posible obtener en cada componente por separado. Los constituyentes o componentes se pueden definir e identificar en dos partes, la matriz es el elemento que da soporte a los materiales de refuerzo, y el refuerzo es quien se encarga de mejorar las propiedades de la matriz gracias a sus propiedades físicas y mecánicas.

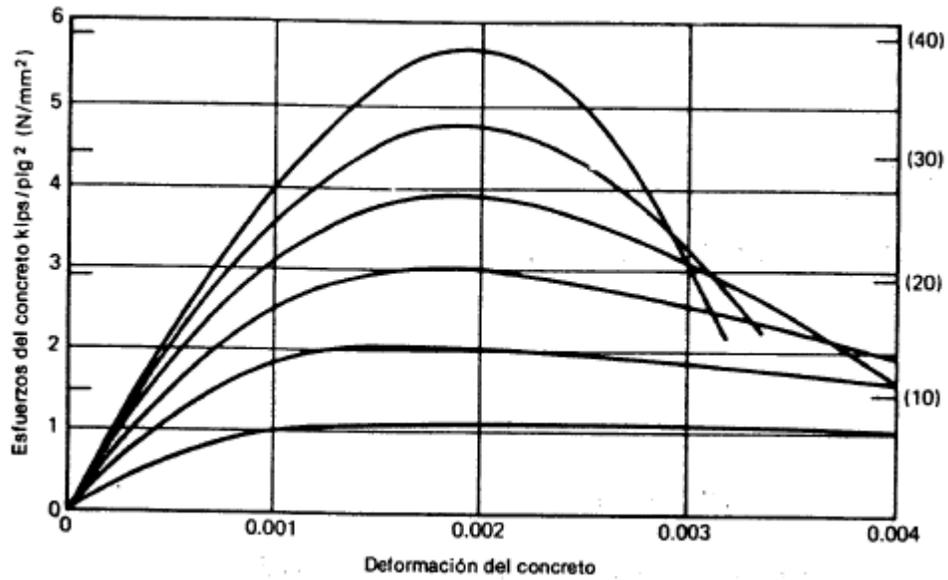
Las propiedades que obtienen los materiales compuestos pueden ser, por ejemplo, el producto de un material más fuerte, más ligero, más estable, menos contaminante, o simplemente de menor costo en comparación con materiales tradicionales.

### 2.1.4 Comportamiento del concreto a tensión de compresión

El comportamiento del concreto se puede estudiar a través de curvas tensión-deformación de diferentes cilindros ensayados bajo la acción de diversas condiciones, siendo el esfuerzo la carga aplicada verticalmente sobre el cilindro y la deformación es la medida obtenida ante la carga ejercida. (González, O. & Villegas F. 2005)

El comportamiento de la curva Tensión-Deformación depende de la resistencia del concreto, si es de baja o alta resistencia. Sin embargo, al ensayar probetas de concreto bajo cargas de compresión uniaxial, la forma típica de estas curvas se comporta casi lineal hasta la mitad de la resistencia a compresión y la deformación en la tensión máxima es aproximadamente 0.002, a

medida que la deformación aumenta se transmiten esfuerzos que permiten visualizar grietas paralelas a la dirección de la carga. (Park & Paulay 1983)



**FIGURA 2.1** CURVAS ESFUERZO-DEFORMACIÓN PARA CILINDROS CARGADOS EN COMPRESIÓN UNIAXIAL

FUENTE: PARKT & PAULAY 1983. ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO.

---

## CAPITULO III

### METODOLOGIA

#### 3.1 Naturaleza y tipo de investigación

El estudio realizado fue de carácter experimental, exploratorio y descriptivo, sometiendo a tensiones de compresión probetas normalizadas de concreto confinadas en mantos elaborados con bandas de material PET para analizar el comportamiento de las mismas a través de sus propiedades mecánicas.

#### 3.2 Población

Un total de 20 probetas normalizados conforman la población de la investigación.

#### 3.3 Muestra

Los miembros descritos en la población determinan la totalidad de la muestra de la investigación.

#### 3.4 Recolección de datos

Gracias a potenciómetros digitales, comparadores mecánicos y cámaras, los datos experimentales del estudio fueron obtenidos de manera audiovisual y electrónica, para ser manejados y analizados mediante hojas de cálculo a través de Excel.

#### 3.5 Equipos de aplicación de carga

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

### 3.6 Variables estudiadas y unidades de trabajo

#### 3.6.1 Variables dependientes

- Carga límite elástico: kgf
- Carga última: kgf
- Deformación: adimensional

#### 3.6.2 Variables independientes

- Resistencia a compresión del concreto: kgf/cm<sup>2</sup>
- Altura de confinamiento: cm

#### 3.6.3 Factores constantes

- Área transversal: 176 cm<sup>2</sup>
- Altura cilindro: 30 cm
- Diámetro cilindro: 15 cm
- Velocidad aplicación de carga: kgf/s

#### 3.6.4 Parámetros constantes

- Periodo de curado concreto: 28 días
- Periodo de adherencia Manto – Epoxi: 10 días

### 3.7 Materiales utilizados, propiedades, características y dosificaciones

#### 3.7.1 Concreto

El cemento utilizado es Portland CPCA1 Compuesto, distribuido por la Corporación Socialista de Cemento S.A

<b>Dosificación</b>			
Cemento (Kg)	Agregado Grueso (Kg)	Agregado Fino (Kg)	Agua (lts)
377	754	1132	943

**TABLA 3.1** DOSIFICACIÓN APLICADA

Las cantidades indicadas corresponden a m<sup>3</sup> de concreto

### 3.7.2 Resina Epoxi

Resina			
Marca	Tipo	Modulo a la Flexion (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la Rotura (kgf/cm <sup>2</sup> )
Vitrofibras	POLY-3730N	22000 - 25000	450 - 550

TABLA 3.2 PROPIEDADES DE RESINA UTILIZADA

### 3.7.3 Politereftalato de Etileno

Se estudió el comportamiento Tensión-Deformación de las bandas PET mediante ensayos, en el cual se sujetaron y dejaron colgar las bandas a una base fija aplicando cargas axiales, permitiendo así obtener mediciones de alargamiento. Se obtuvo que el material PET posee un comportamiento dúctil y un módulo de elasticidad igual a 16345 kgf/cm<sup>2</sup> en su rango elástico. El alargamiento en el cual ocurre la rotura del PET es 23 cm, equivalente a una deformación axial de 0.17, alcanzando en ese punto una tensión máxima de 960 kgf/cm<sup>2</sup>, comportamiento indicado en la figura 3.1.

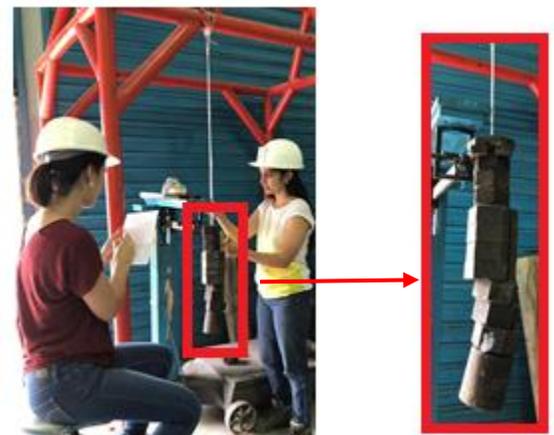


FIGURA 3.1 ENSAYOS DE BANDAS PET

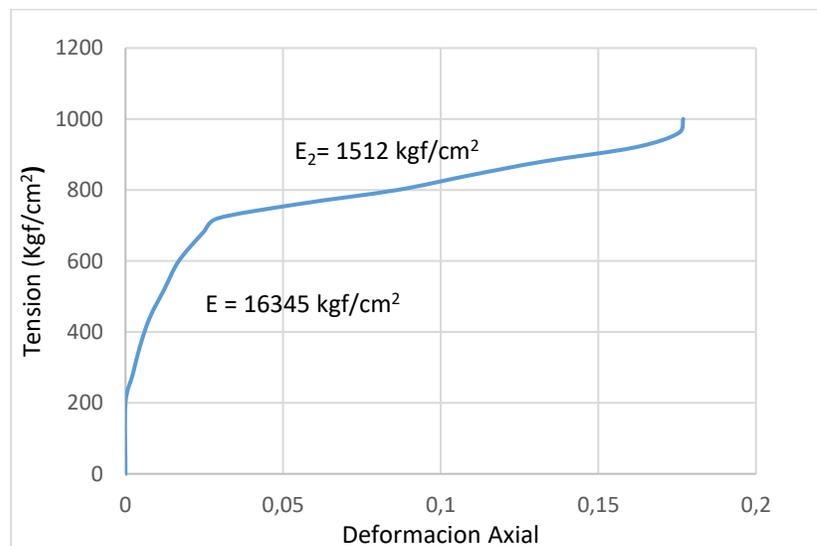


FIGURA 3.2 GRAFICO TENSION –DEFORMACIÓN AXIAL PROMEDIO DE BANDAS PET

### 3.8 Diseño experimental

Para analizar la incidencia de exo-refuerzo en manto PET sobre el comportamiento de probetas normalizadas de concreto, se determinó un diseño experimental de manera que, al aplicar tensiones de compresión se pudo evaluar el comportamiento mecánico de los mismos a través de gráficos Tensión-Deformación.

Los miembros fueron dispuestos en cuatro (4) grupos de cuatro (4) miembros cada uno, con una configuración de manto única para cada una, se reservó cuatro (4) probetas como muestra patrón sin exo-refuerzo, resultando finalmente 20 miembros a ensayar.

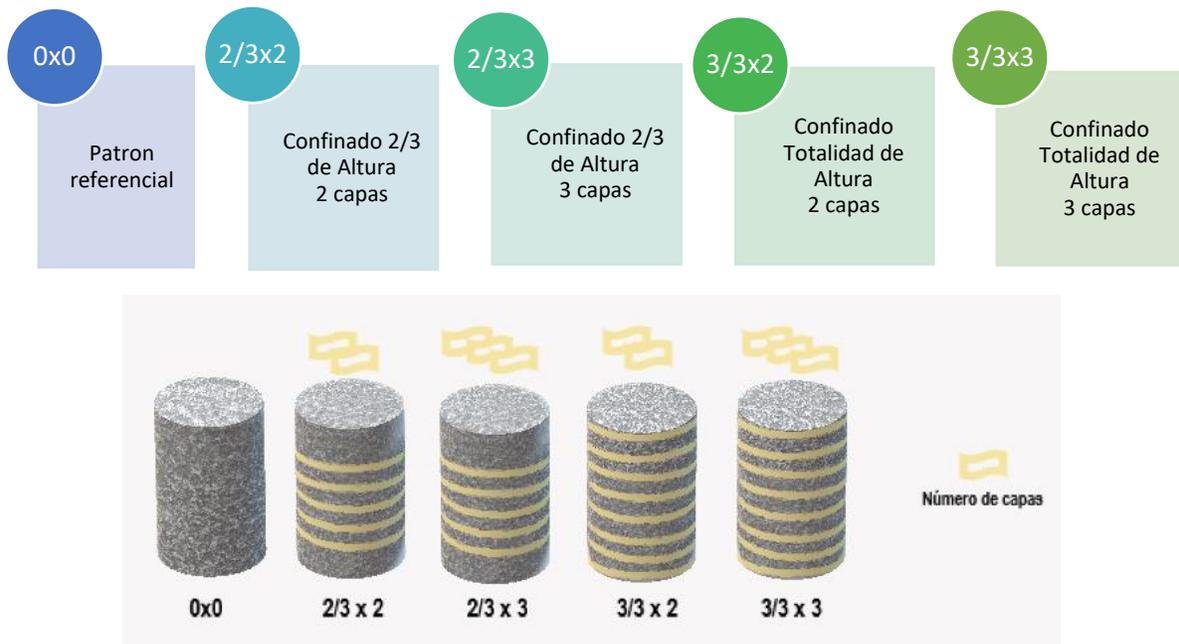


FIGURA 3.3 CONFIGURACIÓN DE PATRONES

### 3.9 Fase de ejecución



#### 3.9.1 Documentación

Se investigó y documentó de estudios realizados anteriormente, el aporte de diversas fibras tales como las de carbono y vidrio en elementos estructurales sometidos a tensiones de compresión, así como también las propiedades mecánicas del PET, esto con el fin de establecer los alcances, limitaciones y profundizar en fundamentos teóricos necesarios para analizar el comportamiento del PET.

Para cualquier imagen, figura o tabla desarrollado por los autores no será colocado “Fuente de elaboración propia”

#### 3.9.2 Elaboración de Probetas

En primer lugar, se prepararon los moldes de probetas cilíndricas con una capa de recubrimiento interno con aceite; seguidamente se llevó a cabo la mezcla en una mezcladora horizontal, tomando para cada vaciado su correspondiente asentamiento. Los miembros fueron sumergidos en cámaras de agua durante 28 días. Los equipos utilizados en la elaboración de las muestras pertenecen al Laboratorio de Tecnología Del Concreto UCAB.



**FIGURA 3 .4** FASES DE LA EJECUCIÓN DE PROBETAS

### 3.9.3 Elaboración de mantos PET

En primer lugar, se procedió a realizar la recolección de botellas PET, con la cual se contó con el apoyo de Cines Unidos Caracas.

Para asegurar un único tipo de botellas PET en el estudio, se clasificaron las mismas por marcas, siendo la mayoría de botellas obtenidas de marca Pepsi-Cola con un total de 120 unidades de 2 litros, razón por la cual se utilizaron éstas en la ejecución de la investigación.



**FIGURA 3.5 RECOLECCIÓN DE BOTELLAS**

Para la obtención de la banda, se fabricó un aparato cortador de cintas PET con madera y hojillas para exactos, realizando un corte con segueta en la madera de la anchura de la banda (5 mm), tal como se muestra en la Figura 3.6.



**FIGURA 3.6 FABRICACIÓN DE CORTADOR PET**

Realizando un corte de la parte inferior de las botellas, se extrae una banda con tijera de aproximadamente 15 cm que se introduce en el cortador PET para realizar la extracción de la banda,

teniendo como resultado un conjunto de bandas PET, las cuales poseen una anchura de 5 mm y espesor de 0.5 mm. Por cada botella de 2 litros se obtiene una banda de 7 m de longitud.



FIGURA 3.7 ELABORACIÓN DE BANDAS PET

La elaboración del manto se ejecutó con una anchura constante de  $\frac{1}{3}$  de la altura del cilindro, la cual contiene seis (6) bandas con separación de centro a centro de 1.75 cm en los extremos y 2 cm en las bandas centrales, la longitud de estas corresponde a la cantidad de capas (2 capas = 1 m y 3 capas = 1,5 m). Cada manto se

realizó con un solape de 6 cm adicional al perímetro de la probeta cilíndrica. Paralelo a la dirección de la carga, es decir, perpendicular a la dirección del manto, las seis (6) cintas se enlazan con tiras de tirro de 5 mm de anchura cada 12 cm.

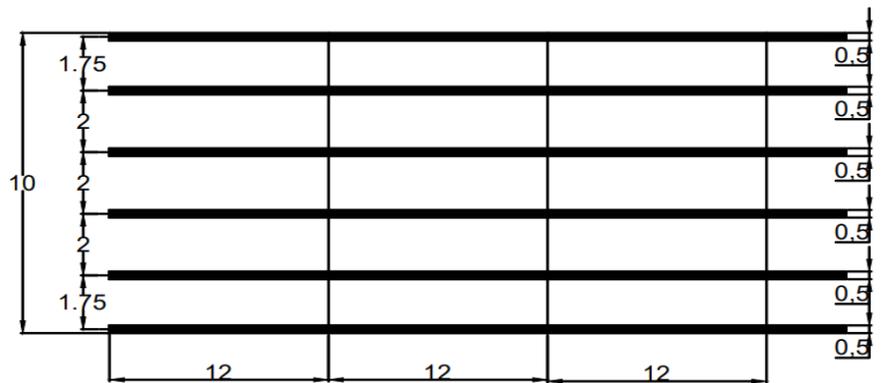


FIGURA 3.8 MANTO PET



**FIGURA 3.9** ELABORACIÓN DE MANTO PET

#### 3.9.4 Colocación de mantos PET

A través de esmeril con disco de diamante, la totalidad de la altura de las probetas se desbastó en su superficie, con la finalidad de garantizar la adherencia del manto a la superficie. Posteriormente, para la eliminación de las partículas presentes en la superficie, producto del desbaste, los miembros fueron limpiados con un paño húmedo.

La dirección del manto fue dispuesta perpendicularmente al sentido de aplicación de las tensiones de compresión. Se coloca una capa de resina epoxi sobre la superficie de la probeta en la zona que será exo-reforzada, seguidamente se adhiere el manto en su primera capa, nuevamente se emplea una segunda capa de resina epoxi y se adhiere la segunda capa del manto, así sucesivamente hasta completar las vueltas correspondientes a cada familia de patrones. Por último, se cubre toda la superficie del manto con resina epoxi y se añade mayor cantidad en el sitio del solape para aumentar la adherencia en la zona.



**FIGURA 3.10** COLOCACIÓN DE MANTO PET

### 3.9.5 Ejecución de ensayos

Para asegurar la ejecución de compresión axial pura, se refrentó las caras superiores de los cilindros, garantizando así el paralelismo. Por otra parte, se verificó que las colocaciones de los dispositivos de medición estuviesen correctamente dispuestos.



**FIGURA 3.11** EJECUCIÓN DE ENSAYO

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y ANÁLISIS

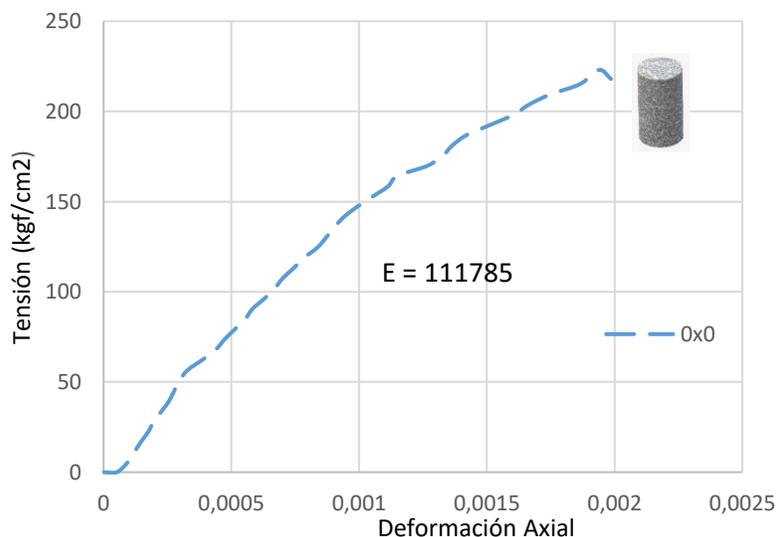
Los resultados y análisis presentes pertenecen al promedio de las mediciones obtenidas de las cuatro (4) probetas correspondientes a cada configuración de refuerzo.

#### 4.1 Comportamiento Tensión – Deformación Axial

##### 4.1.1 Patrón referencial

Los miembros referenciales cumplen la función de ser patrón de comparación con los patrones reforzados en sus diferentes configuraciones.

En la figura 4.1 se muestra el comportamiento promedio del patrón referencial, en la cual se observa un comportamiento típico de probetas cilíndricas al ser sometidas a tensiones de compresión, donde la curva tiene una tendencia casi lineal y alcanza la deformación 0.002 para la tensión máxima soportada, cuyo valor corresponde a la aparición de grietas paralelas a la dirección de la carga aplicada. La resistencia media resultó  $223\text{kgf/cm}^2$ , con  $111.785\text{kgf/cm}^2$  en el módulo de elasticidad, correspondiente a la pendiente de la recta tangente a la curva.

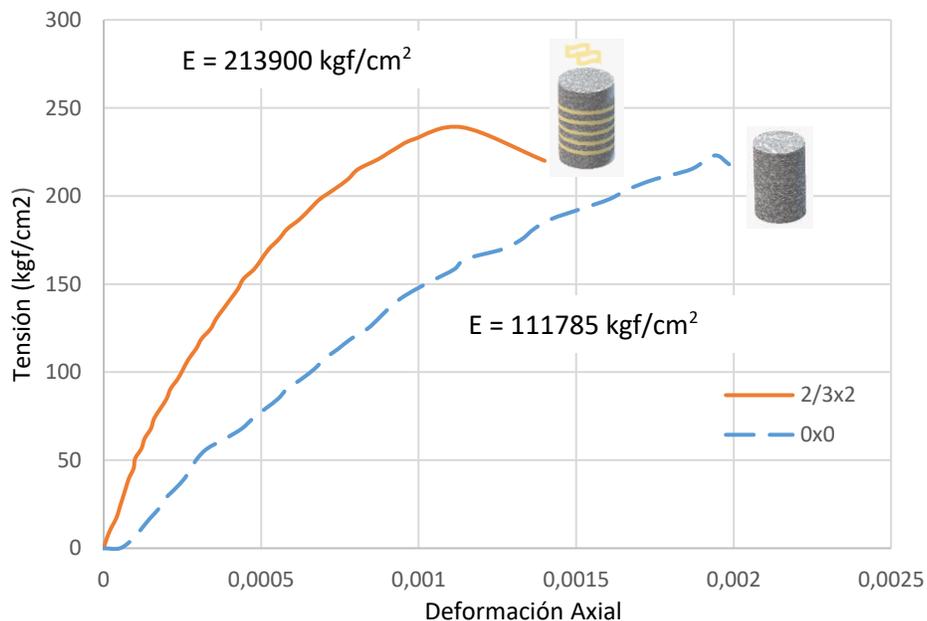


**FIGURA 4.1** GRAFICO TENSIÓN – DEFORMACIÓN AXIAL PROMEDIO DE MIEMBROS PATRÓN

#### 4.1.2 Confinamiento en 2/3 de la altura en la zona central con 2 capas

De la figura 4.2 se obtiene que la resistencia a compresión de los miembros 2/3x2 corresponde a 239 kgf/cm<sup>2</sup>, por lo que, el aporte proveniente del manto-epoxi en cuanto a tensiones representa 7.17% de ganancia en resistencia respecto al patrón referencial. En cuanto al módulo de elasticidad, se experimentó un incremento considerable, obteniendo 213.900 kgf/cm<sup>2</sup> en módulo de elasticidad, lo cual representa una ganancia de 91.35%; esto ocurre ya que al estar confinada la zona central del miembro se restringen las deformaciones, obteniendo un aumento en su rigidez y disminuyendo la deformación axial.

La falla de los miembros confinados 2/3 de la altura ocurre con el agrietamiento de la zona que no se encuentra reforzada, es la zona en la cual se libera la energía absorbida.



**FIGURA 4.2** GRAFICO TENSION – DEFORMACION AXIAL DE LA CONFIGURACION 2/3 X 2

### 4.1.3 Confinamiento en 2/3 de la altura en la zona central con 3 capas

El comportamiento de las probetas 2/3x3 al estar sometidas a tensiones de compresión se indica en la figura 4.3, la cual muestra una ganancia sobre el patrón referencial de 9.42% en cuanto a resistencia, correspondiente a 244kgf/cm<sup>2</sup>. Por otro lado, al comparar el módulo de elasticidad respecto a la muestra patrón, se evidencia un incremento de 205.8% ya que el módulo registrado fue 341.840kgf/cm<sup>2</sup>, este aumento en el módulo se produce por la restricción en las deformaciones transversales generadas por el confinamiento, incidiendo directamente en el incremento de la tensión máxima soportada por el miembro.

Se observa el desprendimiento de las bandas PET al incrementar la carga aplicada a la probeta, esto se debe a la poca adherencia existente entre banda-banda (figura 4.3.1).

El comportamiento de la fibra de carbono y la fibra de vidrio al estar sometidas a tensiones de compresión rompe al fallar el miembro, lo cual no ocurre con el PET, éste último tiende a desprenderse de la capa inferior a ella en la zona del solape sin romper como sucede con la fibra de carbono y vidrio.



FIGURA 4.3.1 DESPRENDIMIENTO DE BANDAS

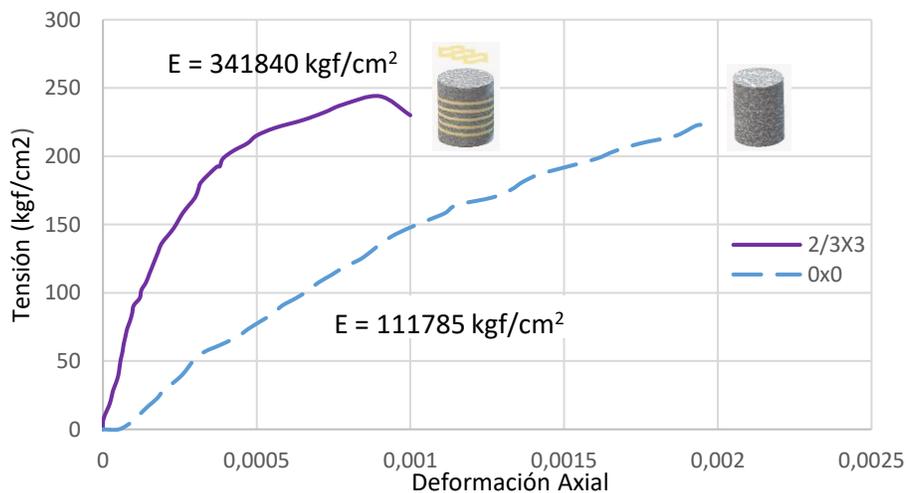
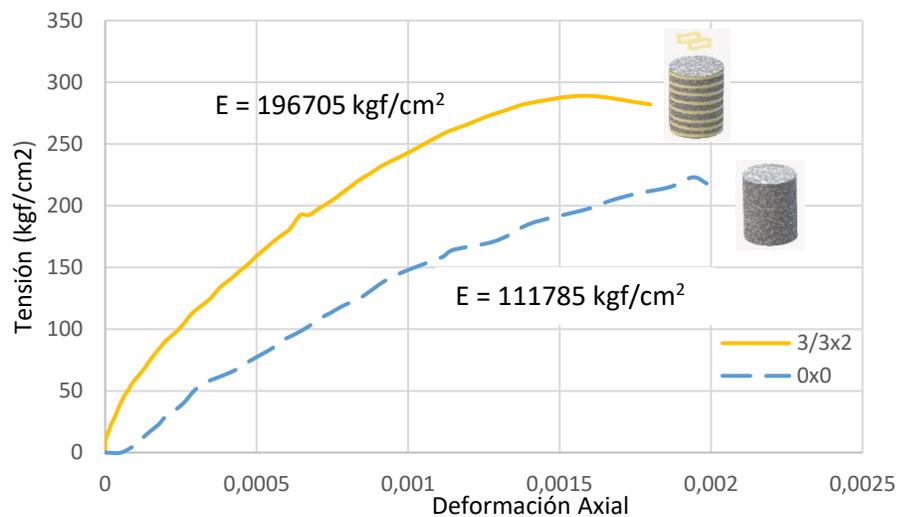


figura 4.3 grafico tensión – deformación axial de la configuración 2/3 x 3

#### 4.1.4 Confinamiento en totalidad de la altura con 2 capas

Para la totalidad del miembro reforzado con 2 capas se aprecia una variación importante en el comportamiento de la probeta respecto al patrón referencial, apreciando un valor de resistencia a compresión de  $289 \text{ kgf/cm}^2$ , por lo que, el aporte derivado del manto-epoxi genera 29.6% de ganancia en resistencia, esto se debe a que la totalidad de la altura del cilindro se encuentra confinada sin zonas expuestas (débiles), restringiendo con mayor exigencia la posibilidad de deformación transversal. También se experimentó un incremento considerable del 75.97% en el módulo de elasticidad.



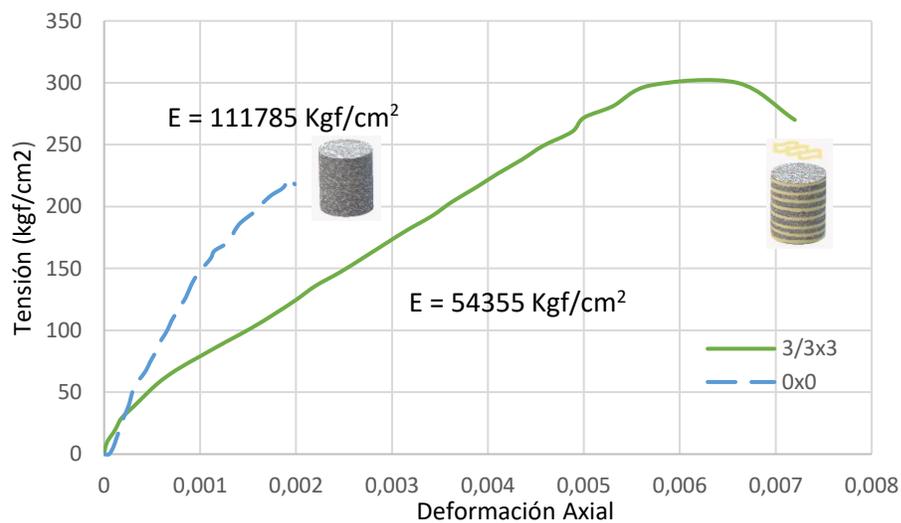
**FIGURA 4.4** GRAFICO TENSION – DEFORMACIÓN AXIAL DE LA CONFIGURACIÓN 3/3 X 2

#### 4.1.5 Confinamiento en totalidad de la altura con 3 capas

El comportamiento correspondiente a la configuración 3/3x3 comparado con la muestra patrón difieren entre sí evidentemente, con una disminución importante en el módulo de elasticidad de 51.38%, comportamiento atípico según las bases teóricas y la tendencia obtenida en los otros patrones estudiados, al ser un miembro reforzado debería a lo sumo tener un comportamiento similar o superior al patrón referencial, y no significativamente inferior a este. De acuerdo a los patrones anteriores, el comportamiento esperado era ser similar a 2/3x3 respecto a módulo de elasticidad con la resistencia alcanzada de  $300 \text{ kgf/cm}^2$ . Al observar internamente la configuración

3/3x3 se aprecia segregación en la mezcla como se muestra en la figura 4.5.1, motivo por el cual el comportamiento del patrón en cuanto al módulo de elasticidad fue el obtenido, se debe destacar que todo proceso investigativo conlleva a ensayo y error.

Sin embargo, hubo incremento en la resistencia máxima alcanzada respecto a la muestra patrón de 34.53%, esto quiere decir que es el patrón que mayor ganancia aporta en términos de resistencia respecto a las configuraciones estudiadas.

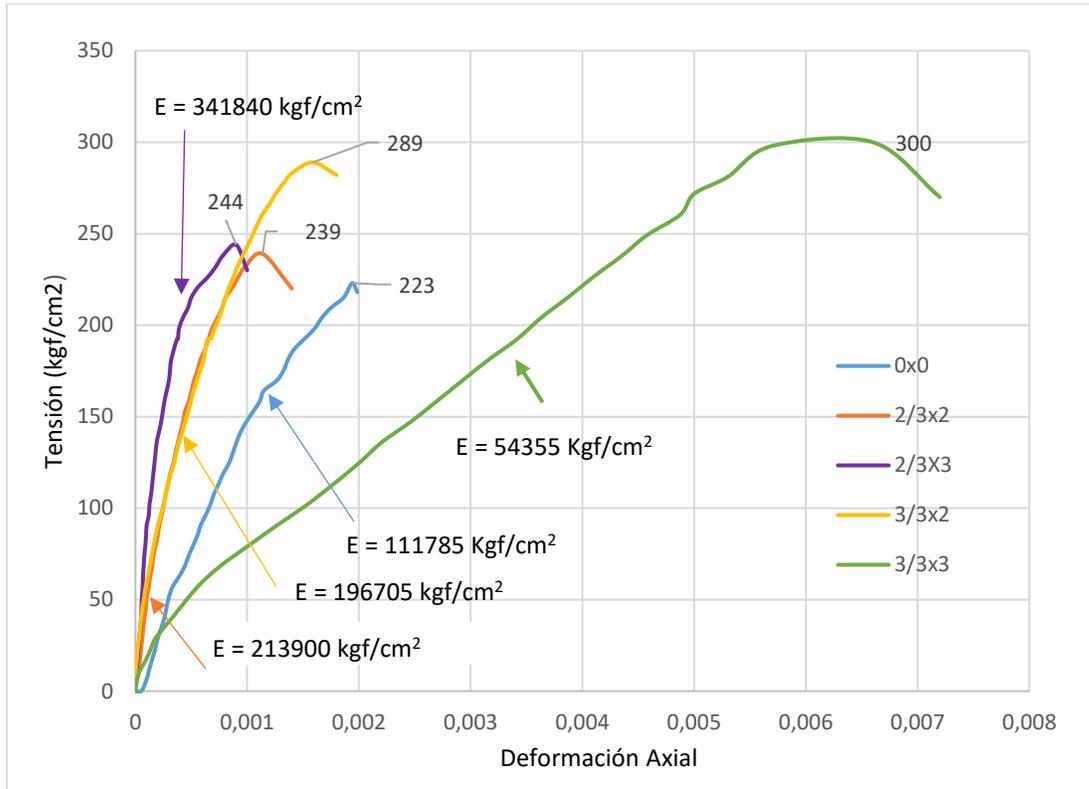


**FIGURA 4.5** GRAFICO TENSION – DEFORMACION AXIAL DE LA CONFIGURACION 3/3 x 3



**FIGURA 4.5.1** MUESTRA CONFIGURACION 3/3 x 3

La figura 4.6 muestra un resumen del comportamiento tensión - deformación axial de las configuraciones involucradas en la investigación, con la finalidad de comparar las variables en estudio.



**FIGURA 4.6** GRAFICO TENSION – DEFORMACION AXIAL DE LAS CONFIGURACIONES EN ESTUDIO

% GANANCIA RESPECTO AL PATRON REFERENCIAL		
PATRÓN	RESISTENCIA	MÓDULO DE ELASTICIDAD
	%	%
2/3 x 2	7.17	91.35
2/3 x 3	9.42	205.8
3/3 x 2	29.6	75.97
3/3 x 3	34.53	-51.38

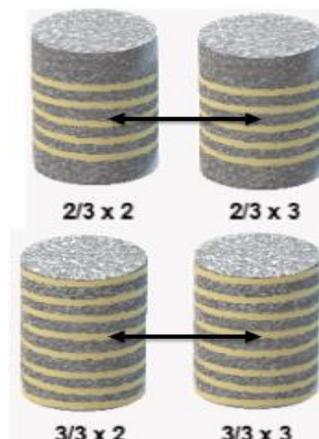
**TABLA 4.1** PORCENTAJES DE GANANCIA EN RESISTENCIAS Y MÓDULOS DE ELASTICIDAD RESPECTO AL PATRÓN REFERENCIAL

#### 4.2 Evaluación de la incidencia con base al número de capas

Para analizar el comportamiento en la variable número de capas, se agrupan los resultados obtenidos para cada patrón en la tabla 4.2, a partir de los cuales se observa que aumentar el número de capas no incide considerablemente en la capacidad resistente de los miembros, en la comparación 2/3x2 con 2/3x3 el incremento de resistencia de 2 capas a 3 capas es de 2.09% y en la comparación 3/3x2 con 3/2x3 aumenta 3,81%. Por el contrario, el número de capas incide en la rigidez con un aumento de 59.81% en la comparación 2/3x2 con 2/3x3, generando disminución en la deformación axial al aumentar el número de capas, cambiando así la pendiente de la curva, tal como se observa en la figura 4.6. Debido al comportamiento atípico de la muestra 3/3x3, donde la pendiente tangente a la curva es inferior a la del patrón referencial no se tomará en cuenta esta configuración en el análisis de los módulos de elasticidad, ya que no permite evaluar objetivamente respecto a esta variable.

% GANANCIA EN NUMERO DE CAPAS					
PROPIEDAD MECÁNICA	RESPECTO A	2/3x2	2/3x3	3/3x2	3/3x3
Resistencia	Patrón Referencial	7.17%	9.42%	29.60%	34.53%
	Número de Capas	2.09%		3.81%	
Módulo de Elasticidad	Patrón Referencial	91.35%	205.80%	75.97%	-51.38%
	Número de Capas	59.81%		-	

**TABLA 4.2** PORCENTAJE DE GANANCIA EN RESISTENCIAS Y MÓDULOS DE ELASTICIDAD DE LAS CONFIGURACIONES EN LA VARIABLE NÚMERO DE CAPAS



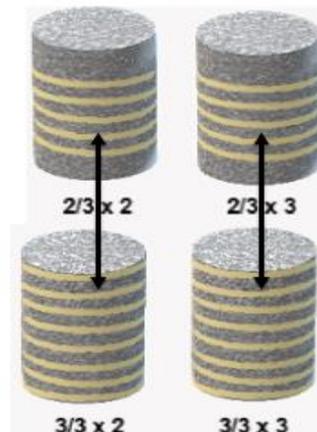
### 4.3 Evaluación de la incidencia con base a la altura confinada

En la variable altura confinada, se agruparon en la tabla 4.3 los porcentajes de ganancias de resistencias y módulos de elasticidad obtenidos respecto a la muestra patrón de la sección 4.1, como se llevó a cabo en la sección 4.2. Relacionando los patrones 2/3 y 3/3 se aprecia incremento en la resistencia en 20.92% con 2 capas y 22.95% con 3 capas, lo cual sigue el comportamiento incremental en las resistencias de probetas normalizadas envueltas en manto de fibra de carbono en las investigaciones realizadas por *González* para 2/3 y la totalidad de la altura confinada. En cuanto al módulo de elasticidad, para la comparación 2/3x2 y 3/3x3 hubo un incremento del 8.74%, el cual no se considera importante.

Al estar expuesto 1/3 de la altura del cilindro sin manto, tal como es el caso del patrón 2/3, éste puede deformarse libremente, siendo la porción descubierta por el manto una zona vulnerable aparición de grietas.

% GANANCIA EN ALTURA CONFINADA					
PROPIEDAD MECÁNICA	RESPECTO A	2/3x2	3/3x2	2/3x3	3/3x3
Resistencia	Patrón Referencial	7.17%	29.60%	9.42%	34.53%
	Altura Confinada	20.92%		22.95%	
Módulo de Elasticidad	Patrón Referencial	91.35%	75.97%	205.80%	-51.38%
	Altura Confinada	8.74%		-	

**TABLA 4.3** PORCENTAJE DE GANANCIA EN RESISTENCIAS Y MÓDULOS DE ELASTICIDAD DE LAS CONFIGURACIONES EN LA VARIABLE ALTURA CONFINADA



---

Por otra parte, al comparar los resultados obtenidos por González en 2017 respecto al estudio realizado en fibras de carbono, se tiene que el manto PET alcanza mayor ganancia en cuanto al módulo de elasticidad, mientras que la fibra de carbono aporta mayor capacidad resistente.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

El estudio realizado permitió determinar el comportamiento de la incidencia de la configuración de confinamiento en manto PET, sobre el comportamiento mecánico de probetas normalizadas de concreto, al estar sometidos a tensiones de compresión. De acuerdo al comportamiento presentado por el patrón referencial, éste permitió determinar las ganancias en términos de capacidad resistente y módulo de elasticidad, al ser la base comparativa en los análisis por su comportamiento congruente con las bases teóricas.

En cuanto al número de capas, se pudo determinar que el incremento de una capa (de 2 capas a 3 capas) es despreciable en términos de ganancia en la capacidad resistente de los miembros, para 2/3 de la altura confinada el incremento representa 2% y para la totalidad de altura confinada 4% de ganancia. No obstante, el aporte dado en términos de rigidez al añadir una capa al manto genera un aumento de 59% en 2/3 de la altura confinada, lo cual representa un incremento considerable.

Evaluando la altura de confinamiento, en los miembros de 2 capas ocurre un 21% de incremento en la capacidad portante del patrón confinado totalmente con respecto al patrón confinado 2/3 de la altura, y 23% de aumento para miembros de 3 capas; lo cual indica que, si se requiere aumento en la resistencia la variable a ser considerada es la altura de confinamiento, tomando en cuenta que la presencia de zonas débiles (zonas sin refuerzo) limitan los aportes brindados por el manto PET. Sin embargo, en relación al módulo elástico, el patrón confinado totalmente con respecto al patrón confinado 2/3 de la altura genera un incremento de 9%, indicando que no representa un aumento importante para la rigidez.

---

Con la configuración de patones estudiados, se obtuvo que la altura de confinamiento incide en la resistencia y la cantidad de capas aporta significativamente en la rigidez.

## 5.2 Recomendaciones

De acuerdo a lo obtenido, para las configuraciones en estudio, si se busca aumentar resistencia se recomienda aumentar la altura de confinamiento, mientras que si se busca aumento en el módulo de elasticidad la tendencia es incrementar el número de capas.

El uso del manto PET como refuerzo estructural no es posible determinar sin evaluar el comportamiento transversal y la variación volumétrica de los miembros, por lo tanto, para continuación de ésta línea de investigación, se sugiere incluir en el estudio la determinación de la deformación transversal de los miembros ya que esta variable no fue incluida en ésta investigación.

Se debe realizar los estudios con resina para fibra de carbono, debido a que ésta es la adecuada para reforzamiento estructural.

La elaboración de las bandas PET con la porción no lisa de las botellas plásticas dificulta su colocación al ser irregulares, por ende, se sugiere realizar las bandas con la parte lisa, correspondiente a 4 metros de longitud por botella, esto permitirá determinar con mayor exactitud las propiedades ofrecidas por cada patrón.

Se recomienda desbastar el material PET para obtener una superficie rugosa que permita una mejor adherencia entre resina-PET.

Debido al desprendimiento del manto, se sugiere aumentar la longitud de solape, garantizando así que el manto actúe aportando en toda su longitud.

En cuanto al uso del PET como refuerzo estructural, se debe tomar en cuenta su comportamiento frente a un incendio, en el cual queda expuesto el PET al fuego, se recomienda evaluar un recubrimiento para el manto PET para protección contra incendio.

---

## BIBLIOGRAFÍA

- Página web: *www.anep-pet.com* Consultada en Enero 2019. *Asociación Nacional del Envase de PET*, Madrid.
- **Porrero, J.; Ramos, C.; Grases, J. & Velazco, G.** *Manual del Concreto Estructural*. Primera Edición Digital. Caracas, 2014.
- **Park, R. & Paulay, T.** *Estructuras de Concreto Reforzado*. Universidad de Canterbury. Editorial Limusa. México, 1983.
- **González, O. & Villegas F.** *Aspectos fundamentales del concreto reforzado*. Editorial Limusa. México, 2005.
- **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*. Trabajo Especial de Grado Universidad Católica Andrés Bello. Facultad de Ingeniería. Caracas, 2017