FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DE EXOREFUERZO EN MANTO DE FIBRA DE VIDRIO SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE MIEMBROS ESBELTOS DE CONCRETO SOMETIDOS 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: Michelle Acevedo Sivira

Rodolfo Andrés Ruiz Orta

Profesor guía: Ing. Yelitza Sirit

Caracas, junio de 2019

UCAB Universidad Católica ANDRES BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DE EXOREFUERZO EN MANTO DE FIBRA DE VIDRIO SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE MIEMBROS ESBELTOS DE CONCRETO SOMETIDOS A TENSIONES DE COMPRESIÓN

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 Sirit Nombre: Luciano Rodríguez Nombre: Vincenzo Bonadís

Realizado por: Michelle Acevedo Sivira

Rodolfo Andrés Ruiz Orta

Profesor guía: Ing. Yelitza Sirit

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Montalban

Caracas, junio de 2019

SINOPSIS

El presente trabajo especial de grado forma parte de una Línea de estudio del Laboratorio de Tecnología del Concreto de la UCAB, teniendo como objeto analizar el comportamiento de miembros esbeltos de concreto, confinados superficialmente en manto de fibra de vidrio, para evaluar las propiedades mecánicas al ser sometidos a tensiones de compresión.

Para el estudio, se desarrollaron quince (15) miembros esbeltos de concreto con dimensiones de 15 cm de diámetro y 90 cm de altura. Como muestra de referencia se dispuso de tres (3) miembros que no recibieron exorefuerzo. Los miembros restantes fueron reforzados siguiendo los siguientes patrones:

- Tres (3) especímenes, exoreforzados con 20 cm de anchura en la zona central.
- Tres (3) especímenes, exoreforzados con 20 cm de anchura en los extremos superior e inferior.
- Tres (3) especímenes, exoreforzados con 20 cm de anchura en el extremo superior, en la zona central y en el extremo inferior.
- Tres (3) especímenes, exoreforzados con 15 cm de anchura en el extremo superior, en la zona central y en el extremo inferior.

Adicionalmente, se incluyeron cinco (5) miembros de concreto con dimensiones de 15 cm de diámetro y 54 cm de altura, para recopilar una mayor cantidad de datos y poder analizar más preciso la incidencia de la altura en la resistencia de los miembros de concreto exoreforzados.

Este trabajo permitió evaluar los aportes de la fibra de vidrio junto a la resina epoxi como refuerzo, logrando así, obtener cuál es la configuración óptima de confinamiento para las solicitaciones aplicadas demostrando a su vez, la incidencia en el módulo de elasticidad y ductilidad por los miembros ensayados.

ÍNDICE

CAPITULO I PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN 7
1.1 Planteamiento del problema 7
1.2 Antecedentes 8
1.3 Objetivo de la investigación 8
1.3.1 Objetivo General 8
1.3.2 Objetivos Específicos 9
1.4 Alcance y Limitaciones 9
CAPITULO II MARCO TEÓRICO 10
2.1 Fundamentos teóricos 10
2.1.1 Polímeros reforzados con fibra de vidrio 10
2.1.2 Material Compuesto 10
2.1.3 Comportamiento del concreto a tensión de compresión 10
2.1.4 Coeficiente o Relación de Poisson 11
2.1.5 Cilindros de pared delgada 12
2.1.6 Efectos de esbeltez 12
CAPITULO III MARCO METODOLÓGICO 14
3.1 Naturaleza y tipo de investigación 14
3.2 Población 14
3.3 Muestra 14
3.4 Recolección de datos 14
3.5 Equipos de aplicación de carga 15
3.6 Variables estudiadas y unidades de trabajo 15
3.6.1 Variables dependientes 15
3.6.2 Variables independientes 15
3.6.3 Factores constantes 15
3.6.4 Parámetros constantes 15
3.6.5 Relación de esbeltez 16
3.7 Materiales utilizados, propiedades, características y dosificaciones 16
3.7.1 Cemento 16

3.7.2 Agregados….. 16
3.7.3 Resina Epoxi 17
3.7.4 Fibra de vidrio 17
3.8 Diseño experimental 17
3.9 Fase de ejecución 19
3.9.1 Documentación 19
3.9.2 Elaboración de miembros esbeltos 19
3.9.3 Colocación de manto de fibra de vidrio 21
3.9.4. Ejecución de ensayos 23
CAPITULO IV RESULTADOS Y ANÁLISIS **25**
4.1 Comportamiento Tensión – Deformación Axial 25
4.1.1 Muestra Patrón 25
4.1.2. Confinamiento en la zona central (1x20) 26
4.1.3. Confinamiento en los extremos superior e inferior (2x20) 27
4.1.4. Confinamiento en el extremo superior, zona central y extremo inferior (3x15) 29
4.1.5. Confinamiento en el extremo superior, zona central y extremo inferior (3x20) 30
4.2. Deformación Transversal 31
4.2.1 Muestra Patrón 32
4.2.2. Confinamiento en la zona central (1x20) 32
4.2.3. Confinamiento en los extremos superior e inferior (2x20) 33
4.2.4. Confinamiento en el extremo superior, zona central y extremo inferior (3x15) 34
4.2.5. Confinamiento en el extremo superior, zona central y extremo inferior (3x20) 35
4.3. Tensiones a tracción de la matriz en el manto de la fibra de vidrio 36
CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES **38**
5.1. Conclusiones 38
5.2. Recomendaciones 41
BIBLIOGRAFÍA **42**

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 1 Curvas esfuerzo-deformación para cilindros de concreto cargados en compresión uniaxial. *11*
Figura. 2 Distribución de esfuerzos en la sección transversal y longitudinal de un tubo de pared delgada. *12*
Figura. 3 Condiciones de borde de Euler *13*
Figura. 4 Miembros esbeltos confinados según los patrones 18
Figura. 5 Elaboración de molde para los miembros esbeltos 20
Figura. 6 Elaboración de miembros esbeltos 21
Figura. 7 Desbaste de los miembros 22
Figura. 8 Colocación del Manto de fibra de vidrio 23
Figura. 9 Realización del refrentado 23
Figura. 10 Montaje de los comparadores mecánicos 24
Figura. 11 Gráfico Tensión – Deformación Axial promedio de miembros patrón 26
Figura. 12 Gráfico Tensión – Deformación axial promedio de miembros confinados 1x20 27
Figura. 13 Gráfica Tensión – Deformación axial promedio de miembros confinados 2x20 28
Figura. 14 Gráfica tensión – deformación axial promedio de miembros confinados 3x15 30
Figura. 15 Gráfica tensión – Deformación axial promedio de miembros confinados 3x20 31
Figura. 16 Gráfico tensión - Deformación transversal miembro patrón 32
Figura. 17 Gráfico tensión - Deformación transversal miembro confinado 1x20 33
Figura. 18 Gráfico tensión - Deformación transversal miembro confinado 2x20 34
Figura. 19 Gráfico tensión - Deformación transversal miembro confinado 3x15 35
Figura. 20 Gráfico tensión - Deformación transversal miembro confinado 3x20 36
Figura. 21 Gráfico Tensión en la Matriz Fibra-Epoxi - Confinamiento de 20 cm de anchura 37
Figura. 22 Fallas en miembros esbeltos *39*

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Dosificación aplicada 16
Tabla 2. Propiedades de los agregados 16
Tabla 3. Propiedades de resina utilizada 17
Tabla 4. propiedades de la fibra de vidrio 17
Tabla 5. nomenclatura del confinamiento 18
Tabla 6 Resultados muestras referenciales 25
Tabla 7. Variación en propiedades respecto al patrón 27
Tabla 8. Variación en propiedades respecto a 1x20 28
Tabla 9. Variación en propiedades respecto a 3x15 29

CAPITULO I
PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

En la actualidad, existen diversas estructuras de concreto reforzado las cuales presentan daños que comprometen su integridad, por consiguiente, si no son tratados de forma correcta pudieran colapsar y causar daños invaluables en la vida de personas. Lo anterior, puede ser consecuencia de fallas en la resistencia, errores en los cálculos e incluso distintos problemas como la calidad de los agregados, cemento, métodos constructivos y fenómenos naturales que no fueron contemplados en la vida útil de la estructura.

Debido a esta situación, surge la necesidad de desarrollar métodos de refuerzo estructural que sean viables para mejorar las propiedades mecánicas de los elementos que lo necesiten, por lo que se recurre a implementar con exorefuerzo a los miembros, aplicando materiales de alta tecnología como la fibra de vidrio (GFRP: Glass Fiber Reinforced Polymer) para aumentar así, la capacidad resistente.

En este caso al considerar la variable de la relación de esbeltez, influye en la capacidad resistente de los miembros, ya que está en función de la resistencia de los materiales y de las deformaciones transversales que estos puedan sufrir.

De tal manera, la aplicación de los refuerzos estructurales busca aumentar la resistencia de los miembros, por lo que la utilización de fibra de vidrio como alternativa al material de mayor demanda (fibra de carbono) permite reforzar superficialmente edificaciones con distintas configuraciones mediante resinas de epoxi.

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.

El tema analizó el comportamiento mecánico de miembros cortos de concretos confinados con manto en fibra de carbono al ser sometidos a tensiones axiales. El estudio permitió conocer los aportes que la matriz Fibra- Epoxi suministra concreto al estar confinado en diferentes proporciones de alturas y establecer la mejor configuración de confinamiento en el uso de exorefuerzo con manto de fibra de carbono. Además, se verifico el aumento de resistencia y ductilidad de los miembros cortos.

1.3 Objetivo de la investigación

1.3.1 Objetivo General

Analizar la incidencia de exorefuerzo en manto de fibra de vidrio, sobre el comportamiento mecánico de miembros esbeltos de concreto estructural sometidos a tensiones de compresión.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Evaluar la incidencia de la configuración de confinamiento de manto de fibra de vidrio sobre la deformación axial de miembros esbeltos de concreto al estar sometidos a tensiones de compresión.
- Analizar la incidencia de la configuración de confinamiento de manto de fibra de vidrio sobre la deformación transversal en miembros esbeltos de concreto al estar sometidos a tensiones de compresión.
- Analizar las propiedades mecánicas del compuesto manto de fibra de vidrio sometido a tensiones de tracción.

1.4 Alcance y Limitaciones

El estudio ejecutado fue desarrollado en quince (15) miembros esbeltos de concreto de sección constante, 90cm de altura y 15cm de diámetro, siendo tres (3) de éstas patrón referencial y los doce (12) restantes reforzados con manto de fibra de vidrio para cuatro (4) tipos de configuración.

El refuerzo realizado se llevó a cabo en función de la altura del miembro de concreto, confinando la zona central con un manto de 20 cm, en ambos extremos del miembro con un manto de 20 cm y en el área superior, central e inferior del miembro variando la anchura del manto de 15 cm a 20 cm cada franja, realizando tres refuerzos de cada una de las configuraciones mencionadas.

Los miembros de concreto estructural (resistencia > 210 kgf/cm²), fueron elaborados sin acero de refuerzo y posteriormente ensayados hasta la falla luego de cumplir 21 días de curado del concreto y 4 días más para el curado de la adherencia de la fibra.

CAPITULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 Fundamentos teóricos

2.1.1 Polímeros reforzados con fibra de vidrio

La fibra de vidrio es un material estructural de ingeniería considerado como compuesto. La resistencia de la fibra de vidrio de diámetro pequeña esta combinada con la ductilidad de la matriz polimérica.

Esta es la fibra más empleada en los plásticos reforzados con fibras (PRF), especialmente en aplicaciones industriales, debido a su gran disponibilidad, sus buenas características mecánicas y a su bajo costo.

2.1.2 Material Compuesto

Son aquellos formados por dos o más materiales distintos sin que se produzca reacción química entre ellos. En todo material compuesto se distinguen dos componentes, como lo son: la matriz, la cual es el componente que se presenta en fase continua, actuando como ligante y el refuerzo, en fase discontinua, que es el elemento resistente.

2.1.3 Comportamiento del concreto a tensión de compresión

Las curvas típicas de esfuerzo-deformación obtenidas de cilindros de concreto cargados en compresión uniaxial en una prueba desarrollada, son casi lineales hasta aproximadamente un medio de la resistencia a compresión. La deformación en el esfuerzo máximo es aproximadamente 0.002. A deformaciones más elevadas, después de alcanzarse el esfuerzo máximo, todavía pueden

transmitirse esfuerzos, aunque se hacen visibles en el concreto grietas paralelas a la dirección de la carga. *(Park & Paulay 1983)*

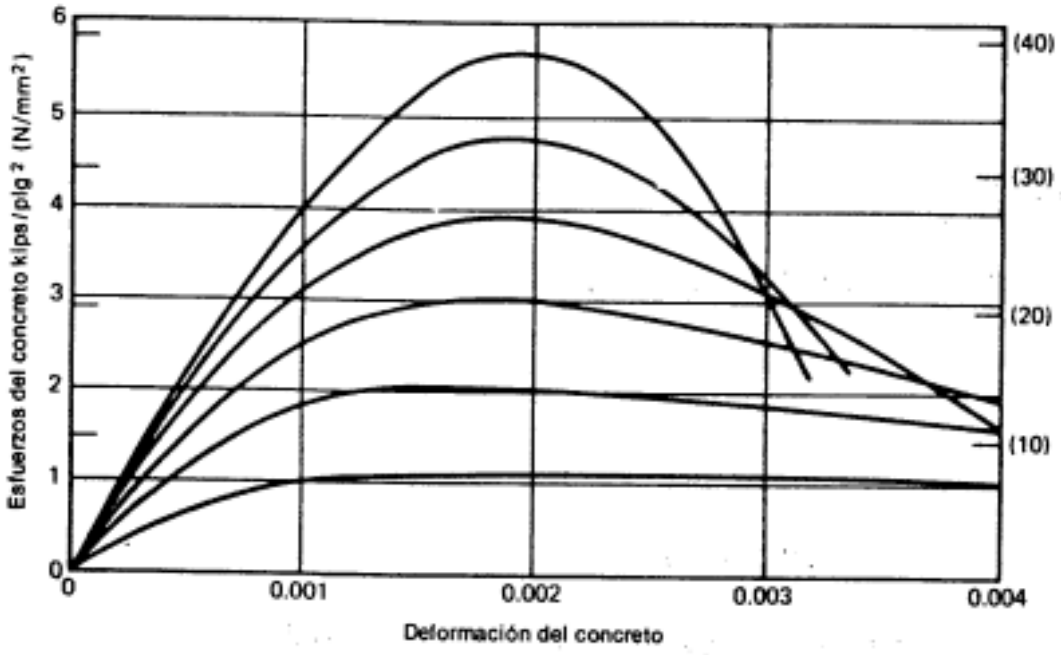


FIGURA. 1 CURVAS ESFUERZO-DEFORMACIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO CARGADOS EN COMPRESIÓN UNIAXIAL.

Fuente: Park & Paulay 1983. Estructuras de Concreto Reforzado

2.1.4 Coeficiente o Relación de Poisson

Es una propiedad elástica importante. Teóricamente, un miembro de cualquier material no cambia de volumen cuando se acorta al recibir una carga a compresión, porque se expande en las dos direcciones ortogonales. La relación entre la deformación por acortamiento en la dirección de la carga y la expansión en la dirección transversal se define como Relación de Poisson. Este coeficiente se determina experimentalmente en forma conjunta con el módulo de elasticidad, incorporando la medida de la deformación transversal. Para el concreto, justificado

por medio de ensayos, se toman valores entre 0.15 y 0.20, *(Manual del concreto estructural, 2004)*

2.1.5 Cilindros de pared delgada

Un cilindro sometido a cargas axiales genera tensiones internamente, las cuales son soportadas en su sección longitudinal y transversal, lo que se traduce en tensiones que se transmiten a la matriz fibra-epoxi adherida superficialmente al miembro. *(Singer & Pytel 1994)*

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

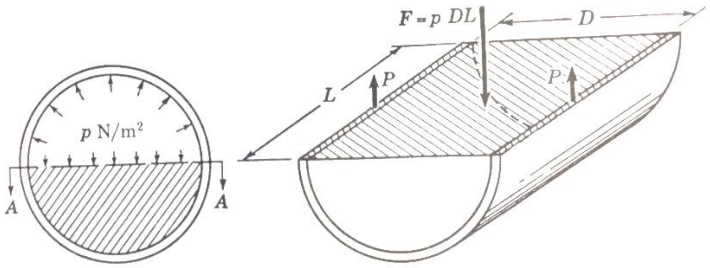


FIGURA. 2 DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL Y LONGITUDINAL DE UN TUBO DE PARED DELGADA.

Fuente: Singer & Pytel 1994. Resistencia de Materiales

2.1.6 Efectos de esbeltez

Se define la esbeltez como la relación que existe entre la longitud de la columna y la dimensión más corta de la sección transversal analizada l/h. Se considera como caso específico el pandeo de columnas largas y esbeltas, cargados axialmente a compresión. Si un elemento es relativamente esbelto, se puede flexionar lateralmente y fallar por flexión, en vez de fallar por compresión directa del material.

Para cada columna analizada se consideran tres tipos de relaciones de esbeltez iguales a l/h = 0, l/h = 10 y l/h = 15, respectivamente, donde l/h = 0 representa una columna corta y l/h = 15 representa la columna más esbelta.

La información que se tiene sobre el comportamiento de las columnas esbeltas, nos la dio Euler quien estableció la carga crítica por debajo de la cual no se produce pandeo. Estos efectos pueden despreciarse si $kl_u/r < 22$.

EULER

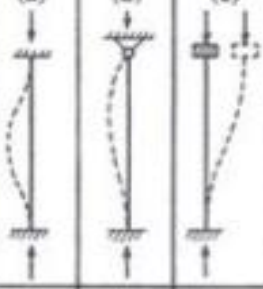
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Condiciones de Borde y Deformada de la Columna						
Valor Teórico de k	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Valor de k recomendado para el diseño	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
Condiciones de Borde		Rotación y Desplazamiento impedidos Rotación libre, sin desplazamiento Desplazamiento libre, sin Rotación Rotación y Desplazamiento libres				

FIGURA. 3 CONDICIONES DE BORDE DE EULER

Fuente: Singer & Pytel 1994. Resistencia de Materiales

CAPITULO III
MARCO METODOLÓGICO

3.1 Naturaleza y tipo de investigación

El estudio realizado fue de carácter experimental, exploratorio y descriptivo, sometiendo a tensiones de compresión de miembros esbeltos de concreto, confinados con un manto de fibra de vidrio en distintas secciones de su altura para analizar el comportamiento de estos a través de sus propiedades mecánicas.

3.2 Población

Un total de quince (15) miembros esbeltos conforman la población principal de la investigación, de dimensiones de 90 cm de altura y 15 cm de diámetro. Adicionalmente, se elaboraron cinco (5) miembros esbeltos a los cuales se les disminuyeron su sección a 54 cm de altura y 15 cm de diámetro para una mayor recopilación de datos.

3.3 Muestra

Los quince (15) miembros principales descritos en la población determinan la totalidad de la muestra de la investigación, siendo tres (3) de estos patrones referenciales para las propiedades mecánicas.

3.4 Recolección de datos

Los datos experimentales fueron reportados mediante el uso de cuatro (4) comparadores mecánicos, captados de forma audiovisual y electrónica, para luego ser manejados en 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	Carga última	Deformación axial a límite elástico	Deformación axial a carga última	Deformación radial a carga última
kgf	kgf	Adimensional	Adimensional	Adimensional

3.6.2 Variables independientes

Resistencia a compresión del concreto	Altura de confinamiento
kgf/cm²	cm

3.6.3 Factores constantes

Área transversal	Altura cilindro	Diámetro cilindro
176 cm^2	90 cm	15 cm

3.6.4 Parámetros constantes

Periodo de curado concreto	Periodo de adherencia Manto – Epoxi
21 días	4 días

3.6.5 Relación de esbeltez

Radio (cm)	Masa (kg)	Inercia (cm^3)	Área (cm^2)
7.5	36	1013	177

r (cm)	k (Euler)	Lef (cm)
2.39	0.5	90
Relación de esbeltez		18.79
$\frac{k*Lef}{r} < 22$		

3.7 Materiales utilizados, propiedades, características y dosificaciones

3.7.1 Cemento

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

TABLA 1. DOSIFICACIÓN APLICADA

Dosificación			
Cemento (Kg)	Agregado Grueso (Kg)	Agregado Fino (Kg)	Agua (lts)
343.61	859	1030.83	251

Las cantidades indicadas corresponden a m^3 de concreto.

3.7.2 Agregados

TABLA 2. PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

Agregado Grueso		Agregado Fino	
Tamaño máximo (pulg.)	3/4"	Pasante Tamiz	#4
Densidad (kg/m^3)	2.65	Densidad (kg/m^3)	2.65
Absorción (%)	1.11	Absorción (%)	1.78
Humedad(%)	0.8	Humedad(%)	0.9

3.7.3 Resina Epoxi

TABLA 3. PROPIEDADES DE RESINA UTILIZADA

Resina			
Marca	Tipo	Módulo a la Flexión (Kgf/cm²)	Resistencia a la Rotura (Kgf/cm²)
Vitrofibras	POLY-3730N	22000 - 25000	450-550

3.7.4 Fibra de vidrio

TABLA 4. PROPIEDADES DE LA FIBRA DE VIDRIO

Fibra de Vidrio	
Peso ISO3374 (gr/m²)	450
Resistencia a tracción D638 (MPa)	88
Módulo de tracción D638 (GPa)	9.8
Contenido de vidrio (%) D2584	30.8

3.8 Diseño experimental

Para analizar la incidencia de exorefuerzo en manto de fibras de vidrio sobre el comportamiento de miembros esbeltos de concreto, se estableció un diseño experimental de manera que, al aplicar tensión de compresión se evaluó el comportamiento mecánico de los mismos, mediante gráficos Tensión–Deformación obtenidos luego de aplicar carga monotónica creciente.

Se dispusieron en cuatro (4) familias de tres (3) miembros, reservando tres (3) de ellos como testigos sin exorefuerzo, resultando finalmente 15 miembros a ensayar. Adicionalmente, se analizaron con el mismo esquema cinco (5) miembros de menor esbeltez, para evaluar la incidencia de la altura en los miembros de concreto.

TABLA 5. NOMENCLATURA DEL CONFINAMIENTO

Sin fibra	Franja Central	Franja en los extremos	Franja en los extremos y centro	Franja en los extremos y centro
T	1x20	2x20	3x20	3x15

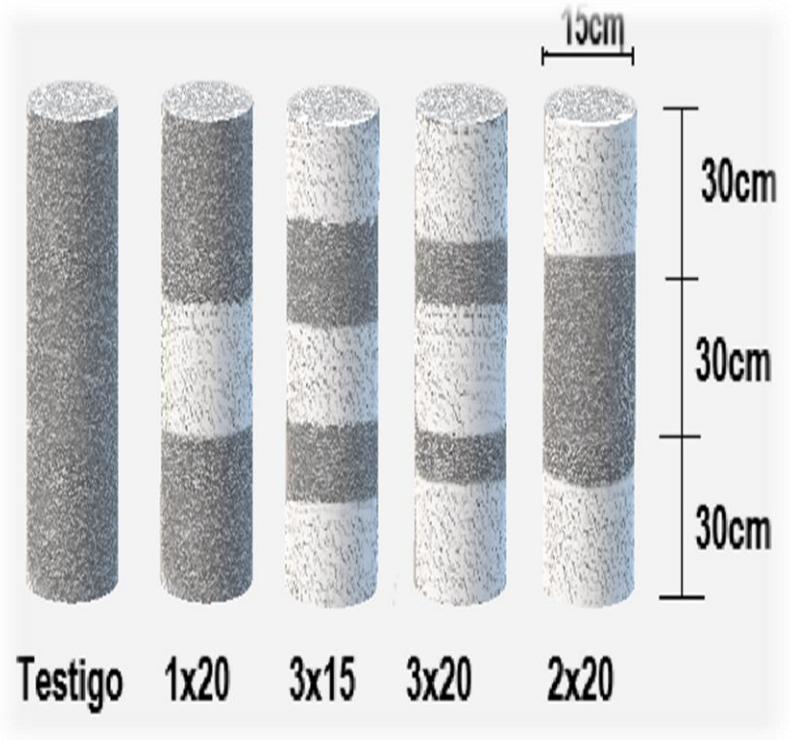
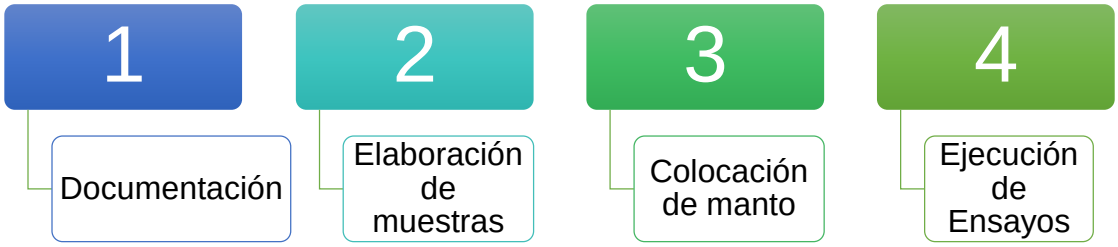


FIGURA. 4 MIEMBROS ESBELTOS CONFINADOS SEGÚN LOS PATRONES

3.9 Fase de ejecución



3.9.1 Documentación

En esta fase se procedió a investigar sobre los aportes de la fibra de vidrio y la incidencia de la esbeltez en los miembros de concreto para analizar las propiedades mecánicas de los elementos estructurales sometidos a solicitaciones de carga, con la finalidad de establecer los alcances, limitaciones y las variables dependientes e independientes de la investigación en estudio. Toda documentación digital que no esté expresada su fuente, es de elaboración propia.

3.9.2 Elaboración de miembros esbeltos

A continuación, se expresa brevemente el procedimiento sistemático realizado para la elaboración de los miembros esbeltos:

- Previo al vaciado, se realizaron la preparación de los moldes a utilizar para el vaciado monolítico de los miembros esbeltos, en las cuales fueron unidas tres (3) probetas estándar a través de alambre en sus juntas para mantener la estabilidad.

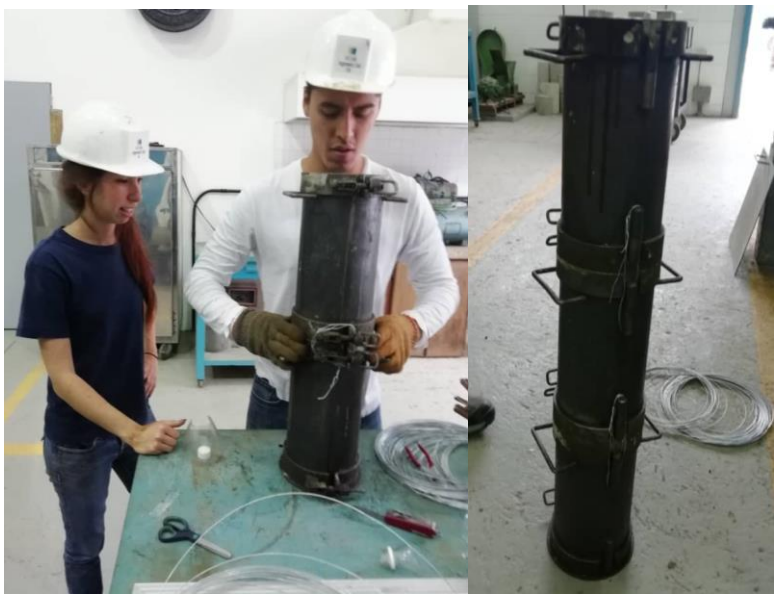


FIGURA. 5 ELABORACIÓN DE MOLDE PARA LOS MIEMBROS ESBELTOS

- Se elaboró una barra de compactación a la medida con dimensiones de 1.20 m de altura y un diámetro de 7/8 de pulgadas, con punta semiesférica, para realizar la compactación.
- En una tolva para mezcla de concreto se realizaron quince (15) mezclas, conteniendo cada una de ellas el material correspondiente a tres (3) probetas, las cuales equivalen a un miembro esbelto, para un total de quince (15) miembros esbeltos.
- Luego de su elaboración, fueron sumergidos en cámaras de agua durante 21 días garantizando así las condiciones de humedad y temperatura óptimas.

Los equipos utilizados en la elaboración de las muestras pertenecen al Laboratorio de Tecnología Del Concreto UCAB.

FIGURA. 6 ELABORACIÓN DE MIEMBROS ESBELTOS

3.9.3 Colocación de manto de fibra de vidrio

Antes de la colocación del manto de fibra de vidrio, a través de un esmeril con disco de diamante, se desbastó la superficie total de cada uno de los miembros esbeltos, con la finalidad de garantizar la adherencia del manto a la superficie. Para asegurarnos la eliminación de las partículas producto al desbaste presentes en la superficie, los miembros fueron limpiados con un paño húmedo y un cepillo de cerdas de alambre.

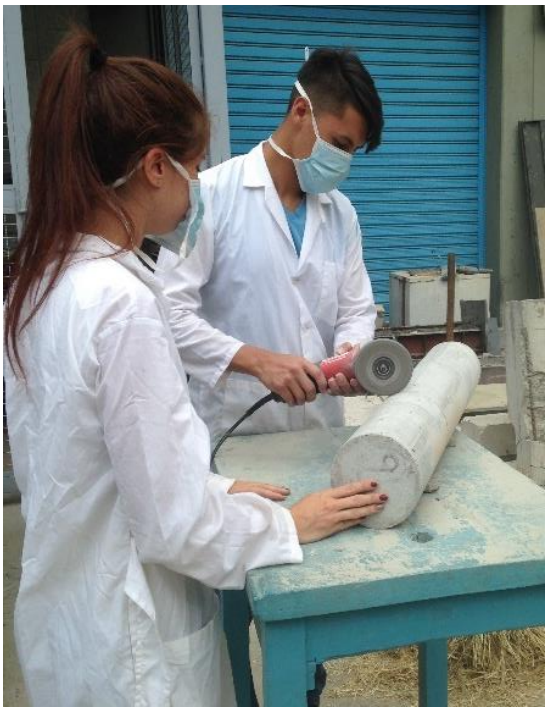


FIGURA. 7 DESBASTE DE LOS MIEMBROS

Luego se procedió a preparar la fibra para su colocación, para ello se cortaron las franjas con las anchuras correspondientes de cada patrón, y con una longitud que procure un solape de 5 cm al momento de colocar la fibra alrededor del miembro, utilizando para tal fin una tijera común.

Posteriormente, se realizó la mezcla de la resina con su catalizador, siguiendo las instrucciones de la cantidad recomendada por el fabricante, considerando por cada 100 ml de resina, se añadieron 30 gotas de catalizador.

La aplicación de dicha mezcla se realizó con guantes de látex, tapabocas y brochas para conseguir una capa de resina epoxi sobre la superficie de los miembros esbeltos en la zona exoreforzada, para luego, adherir el manto según la configuración de la familia estipulada y proceder con una segunda capa de resina epoxi en la zona a confinar, considerando mayor cantidad en el sitio del solape de la fibra.

FIGURA. 8 COLOCACIÓN DEL MANTO DE FIBRA DE VIDRIO

3.9.4. Ejecución de ensayos

Para la ejecución de los ensayos fue necesario garantizar la verticalidad de los miembros y el paralelismo de las caras transversales para asegurar compresión axial pura, por lo cual, se nivelaron las caras de todos los miembros.

FIGURA. 9 REALIZACIÓN DEL REFRENTADO

Durante el ensayo a compresión se ideo una manera de medir las deformaciones axiales y transversales, utilizando cuatro (4) comparadores mecánicos, asegurando la horizontalidad del medidor y la perpendicularidad respecto a la cara del miembro. Las lecturas se registraron en los extremos de los miembros.

FIGURA. 10 MONTAJE DE LOS COMPARADORES MECÁNICOS

CAPITULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados están referidos a los promedios de los 3 miembros ensayados por cada patrón de fibra.

4.1 Comportamiento Tensión – Deformación Axial

4.1.1 Muestra Patrón

La figura 11. muestra el patrón, el cual no contiene ningún exorefuerzo, apreciándose así un comportamiento típico de un miembro de concreto esbelto sometido a tensiones de compresión. La deformación axial incrementa a medida que se aplica la carga, por lo cual la curva muestra una tendencia casi lineal, siendo la pendiente de la recta tangente, el módulo de elasticidad del concreto. El punto de tensión máxima soportada corresponde a 1‰ en deformación, valor asociado a la aparición de grietas paralelas a la dirección de la aplicación de carga. En el caso del patrón, la resistencia media se determinó en 150 kgf/cm² y el módulo de elasticidad E resultó en 222.730 kgf/cm².

TABLA 6. RESULTADOS MUESTRAS REFERENCIALES

Patrón	Resistencia (kgf/cm²)	Módulo de Elasticidad
1	153	222731
2	148	222639
3	151	222597

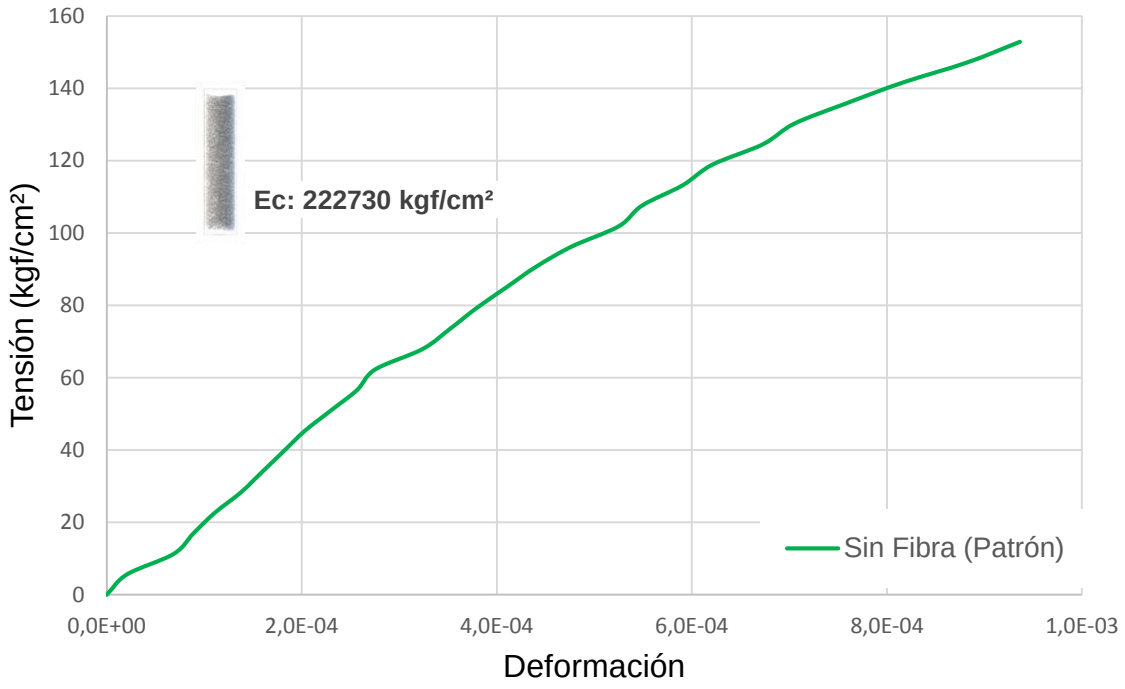


FIGURA. 11 GRÁFICO TENSIÓN – DEFORMACIÓN AXIAL PROMEDIO DE MIEMBROS PATRÓN

4.1.2. Confinamiento en la zona central (1x20)

Al observar la figura 12. el miembro confinando en la zona central con una anchura de 20 cm con respecto al patrón, registra un valor de resistencia a compresión promedio de 193 kgf/cm²; lo que indica que el aporte de la interfaz Fibra–Epoxi en términos de tensiones representa el 29% de ganancia en resistencia. Esto se debe que 22.22% del volumen de concreto en el miembro se encuentra confinado en la zona central y el efecto de esbeltez genera cierta vulnerabilidad al momento de fallar en el tercio central; al comparar los módulos de elasticidad, el correspondiente a la configuración 1x20 de fibra es 25.4% menor al del miembro patrón, siendo este menos rígido; demostrando una ganancia en deformación de 57.36% con respecto al patrón.

TABLA 7. VARIACIÓN EN PROPIEDADES RESPECTO AL PATRÓN

	Ganancia respecto Patrón		
Altura confinada	**Resistencia**	**Módulo de Elasticidad**	**Deformación**
1x20	29%	-25.40%	57.36%

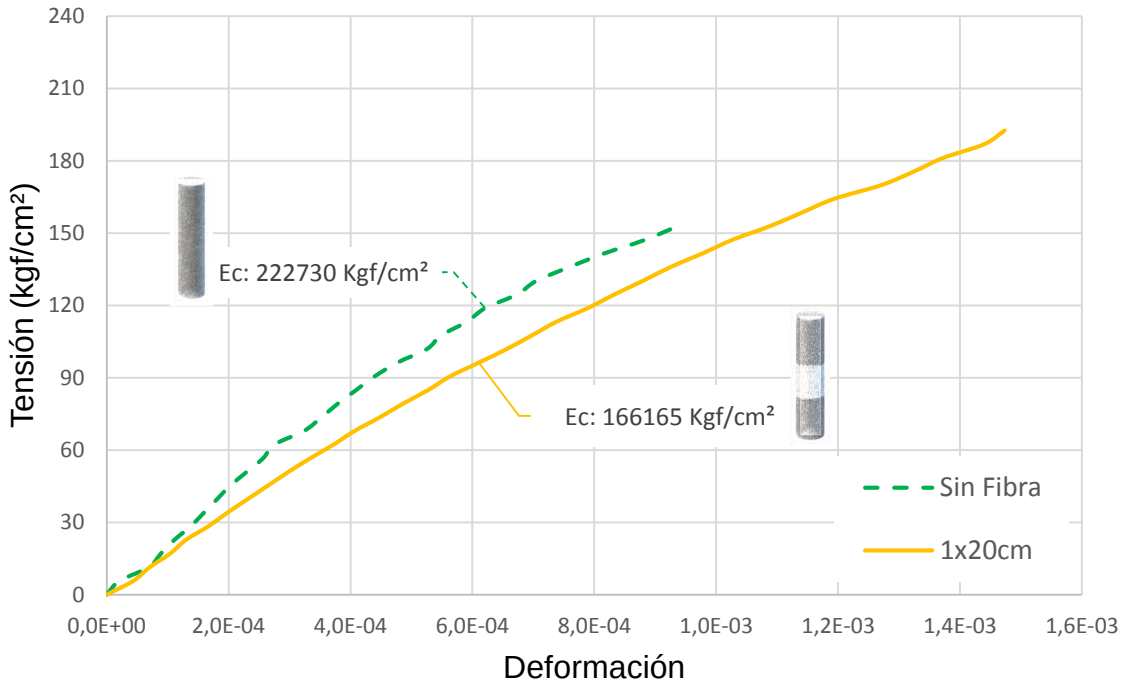


FIGURA. 12 GRÁFICO TENSIÓN – DEFORMACIÓN AXIAL PROMEDIO DE MIEMBROS CONFINADOS 1X20

4.1.3. Confinamiento en los extremos superior e inferior (2x20)

En la figura 13. se observa una pérdida en términos de capacidad resistente del miembro 1x20, siendo la tensión máxima 5% menor a la del miembro confinado en el tercio central. Al comparar los módulos de elasticidad de ambos casos, se evidencia un incremento de 37.39% en el valor del miembro confinado en los extremos, esta variación en el módulo genera una mayor rigidez, restringiendo las deformaciones transversales, por ende, la deformación axial disminuye su tasa de crecimiento cambiando así la pendiente de la curva.

TABLA 8. VARIACIÓN EN PROPIEDADES RESPECTO A 1X20

Altura confinada	Ganancia respecto 1x20		
	Resistencia	Módulo de Elasticidad	Deformación
2x20	-5%	37.39%	-18.48%

Sin embargo, se aprecia una disminución en la deformación de un 18.48% del miembro con 2x20 de altura confinada, con respecto al caso anterior pero un aumento del 28.32% con respecto al patrón. La falla ocurre al agrietarse el extremo superior generando un plano de falla que se transmite a su vez a la matriz Fibra – Epoxi, liberando instantáneamente la energía acumulada hasta este momento.

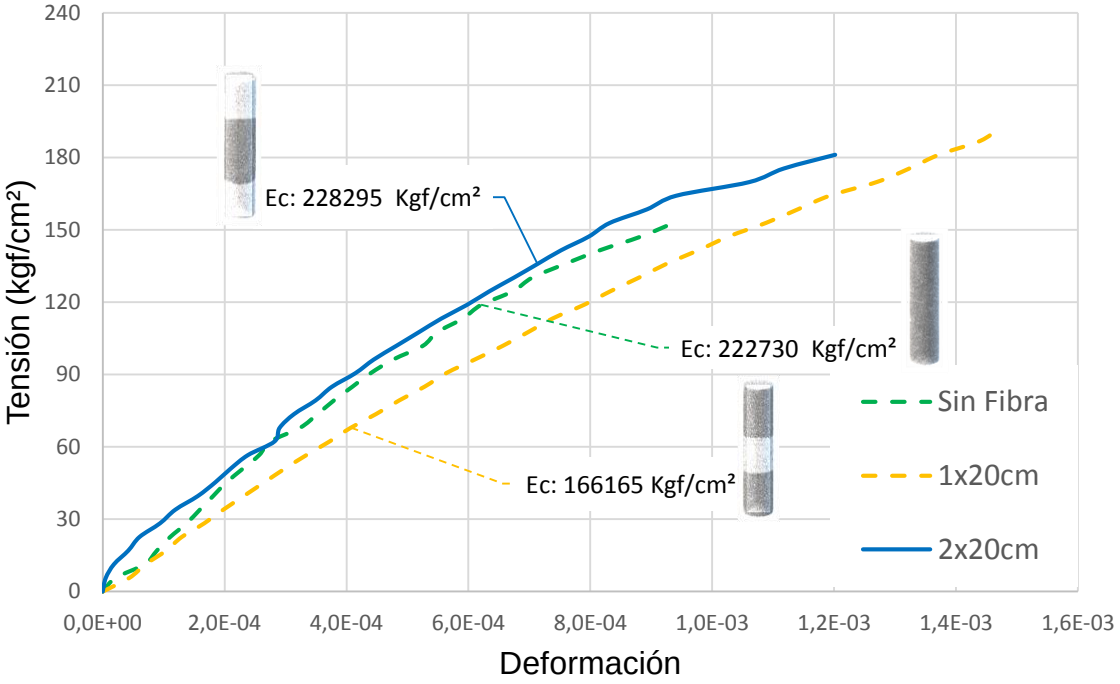


FIGURA. 13 GRÁFICA TENSIÓN – DEFORMACIÓN AXIAL PROMEDIO DE MIEMBROS CONFINADOS 2X20

4.1.4. Confinamiento en el extremo superior, zona central y extremo inferior (3x15)

La figura 14. muestra la Tensión – Deformación Axial de los miembros con 1x20, 2x20 y 3x15 de la altura confinada, esta permite comparar la resistencia a compresión del miembro 3x15 confinado un 50% en la totalidad de su altura con respecto al de 2x20, siendo apreciado un incremento de 1.6% en la capacidad resistente, mientras que con respecto al miembro 1x20 disminuye un 3.1%. Se evidencia una diferencia en la pendiente del tramo elástico de cada curva que define el módulo de elasticidad del miembro 3x15 de altura confinada al ser menos pronunciada con relación a los miembros 1x20 y 2x20, correspondiendo una disminución de 15.39% y 38.48% respectivamente.

En términos de perdida de resistencia no incide significativamente entre los tipos de configuración por parte de la matriz Fibra – Epoxi.

TABLA 9. VARIACIÓN EN PROPIEDADES RESPECTO A 3X15

	Ganancia respecto 1x20		
Altura confinada	**Resistencia**	**Módulo de Elasticidad**	**Deformación**
3x15	-3.1%	-15.39%	10.70%
	Ganancia respecto 2x20		
Altura confinada	**Resistencia**	**Módulo de Elasticidad**	**Deformación**
3x15	1.6%	-38.48%	35.76%

Por otra parte, se observa en el miembro con 3x15 de la altura confinada que a partir de 1.4‰ de la deformación axial desarrolla cambio en el comportamiento, producto del aporte por parte de la interfaz Fibra – Epoxi, permitiendo al miembro deformarse hasta 10.70% más respecto al caso de 1x20 de la altura confinada, 35.76% más respecto al caso de 2x20, estas deformaciones pueden ser alcanzadas por los miembros gracias al soporte aportado por la interfaz, controlando el reacomodo de las partículas que constituyen la masa de concreto a la vez que lo

mantienen confinado evitando la falla aun después de alcanzar la deformación máxima admitida.

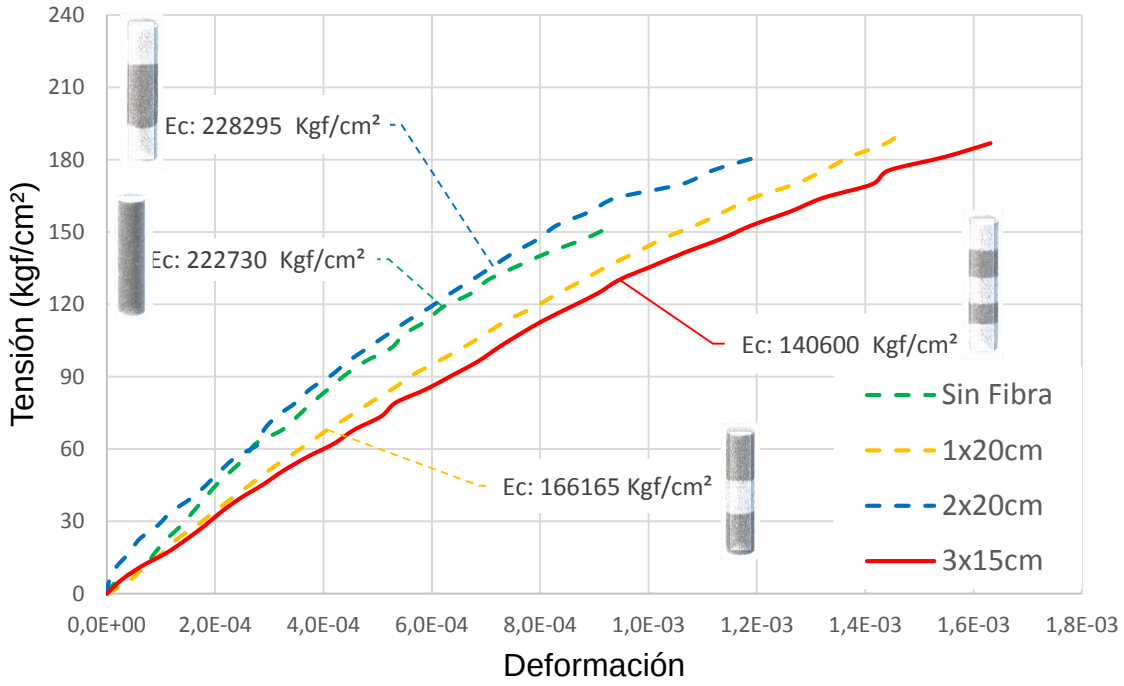


FIGURA. 14 GRÁFICA TENSIÓN – DEFORMACIÓN AXIAL PROMEDIO DE MIEMBROS CONFINADOS 3X15

4.1.5. Confinamiento en el extremo superior, zona central y extremo inferior (3x20)

La figura 15. muestra la Tensión – Deformación Axial de los miembros con 1x20, 2x20, 3x15 y 3x20 de la altura confinada puedan comparar la resistencia a compresión del miembro 3x20 confinado un 66.66% en la totalidad de su altura con respecto a las anteriores es menor al 5%, por cual se puede confirmar que la configuración confinada en el tercio central desarrolla mayor capacidad resistente en comparación a las demás, esto demuestra que no inciden los patrones de fibra de las otra familias de exorefuerzo.

El alto porcentaje de confinamiento 3x20 de la altura, ocasiona la mayor rigidez, por lo que su módulo de elasticidad es 65.62% mayor al de la configuración 3x15, disminuyendo su deformación un 87.88%.

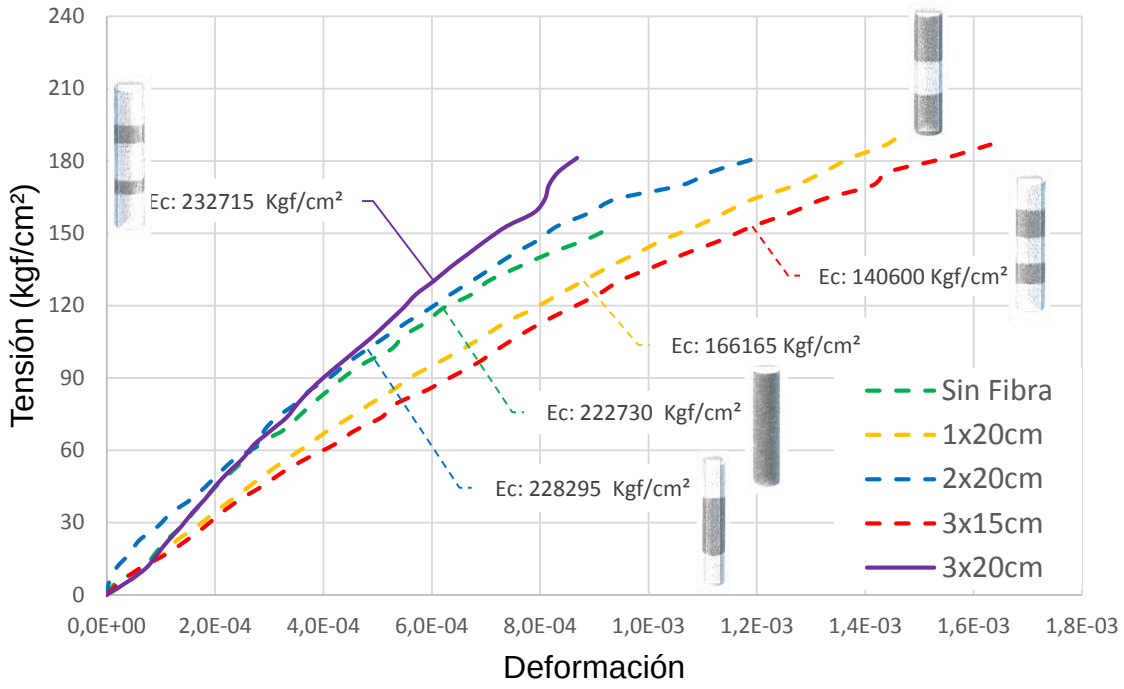


FIGURA. 15 GRÁFICA TENSIÓN – DEFORMACIÓN AXIAL PROMEDIO DE MIEMBROS CONFINADOS 3X20

4.2. Deformación Transversal

Para la representación del comportamiento Tensión – Deformación Transversal se consideró el ensanchamiento de los miembros como deformación negativa, para visualizar en el eje axial las diferencias entre las tensiones producto a la compresión y la tracción ocasionada.

4.2.1 Muestra Patrón

En la figura 16. se observa el comportamiento medido de la muestra patrón, apreciando que al instante de iniciar la aplicación de tensión se produce una deformación en el plano transversal, generada por el acortamiento del miembro, hay un cambio en la pendiente inicial de la curva debida al reajuste de las partículas en las caras en contacto con la máquina de prueba.

Una vez alcanzada la tensión máxima del miembro, las deformaciones incrementan en mayor magnitud, esto debido al agrietamiento durante los ensayos.

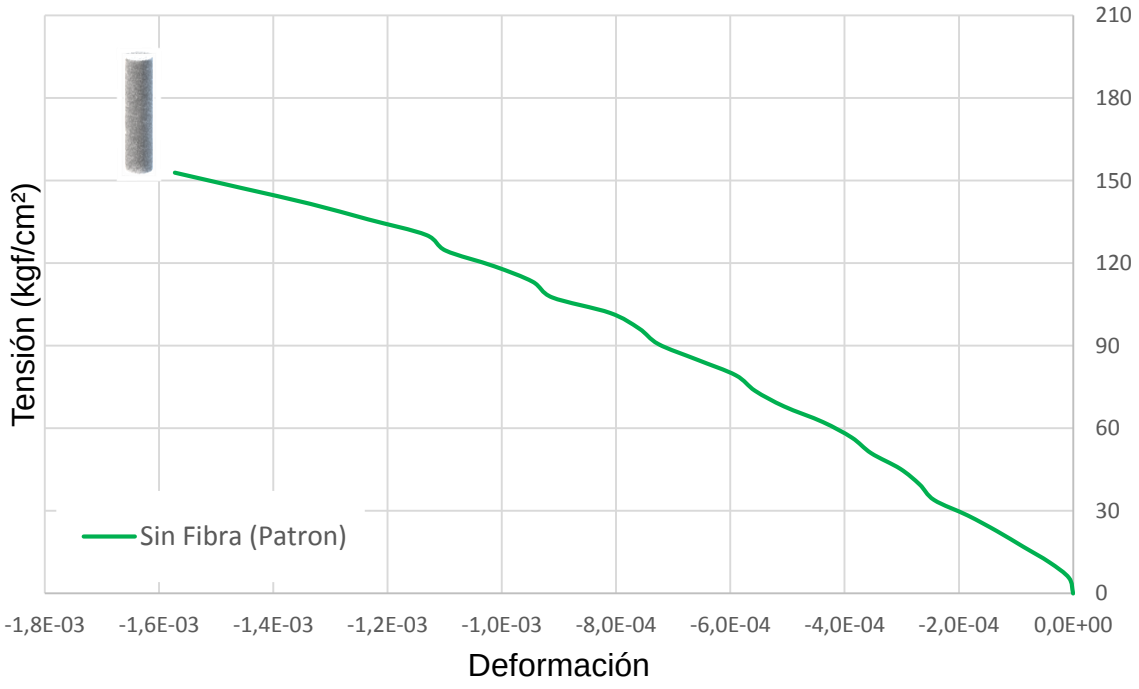


FIGURA. 16 GRÁFICO TENSIÓN - DEFORMACIÓN TRANSVERSAL MIEMBRO PATRÓN

4.2.2. Confinamiento en la zona central (1x20)

En la Figura 17, se observa el comportamiento del miembro 1x20 respecto al Patrón referencial. Se aprecia que al inicio de aplicación de la carga el miembro

confinado empieza a presentar deformaciones a bajas tensiones debido a su relación de esbeltez, este tiende a ensancharse de manera evidente. Sim embargo, al realizar la comparación, se puede notar que se deforma transversalmente con una tasa menor, llegando ambos prácticamente al mismo punto de deformación máxima con sus respectivas tensiones.

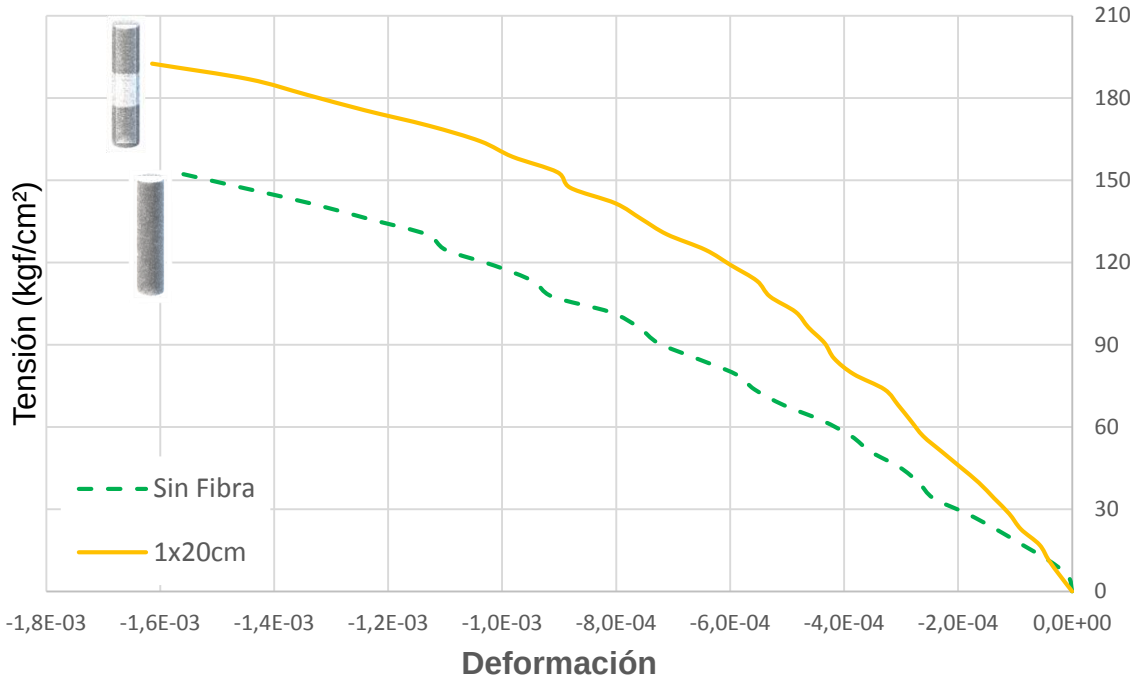


FIGURA. 17 GRÁFICO TENSIÓN - DEFORMACIÓN TRANSVERSAL MIEMBRO CONFINADO 1X20

4.2.3. Confinamiento en los extremos superior e inferior (2x20)

En la Figura 18, se puede observar como las curvas siguen una misma tendencia con respecto a la aplicación de la carga, ya que las franjas restringen las deformaciones transversales hasta una deformación máxima similar. En el mismo contexto, la configuración de los patrones no aporta significativamente con respecto a las deformaciones máximas transversales.

Para el confinamiento 2x20 se puede apreciar un aumento en la tasa de deformación en comparación a la de 1x20, por lo que se evidencia que la zona central es la más vulnerable al ensanchamiento.

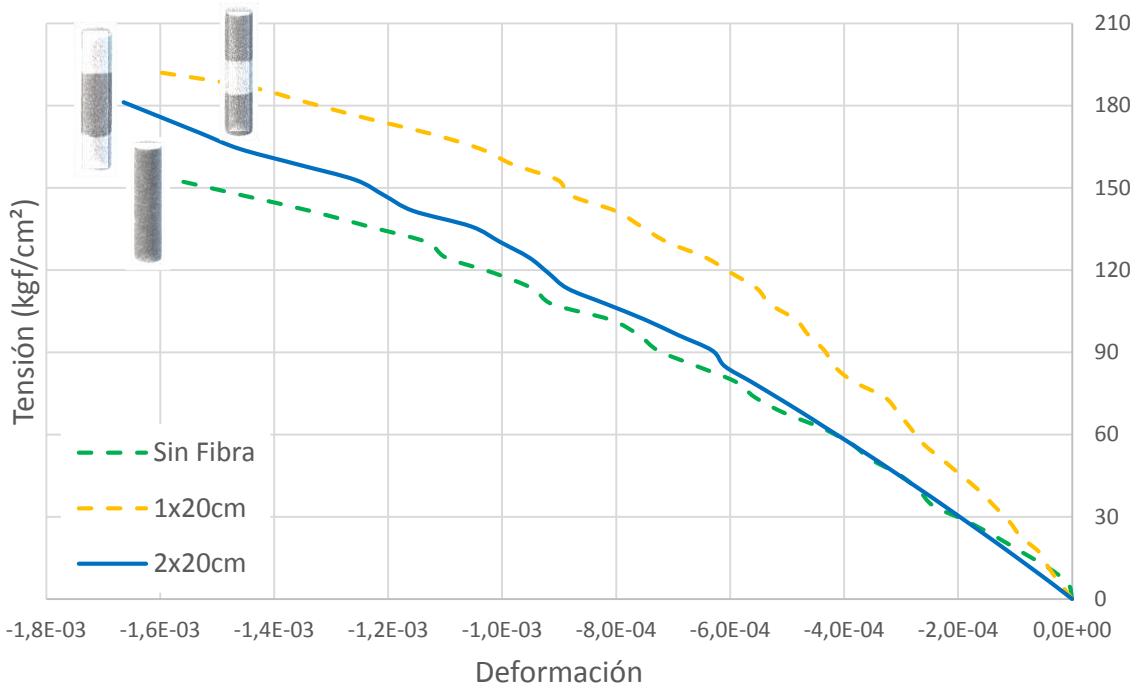


FIGURA. 18 GRÁFICO TENSIÓN - DEFORMACIÓN TRANSVERSAL MIEMBRO CONFINADO 2X20

4.2.4. Confinamiento en el extremo superior, zona central y extremo inferior (3x15)

En la figura 19, demuestra que la configuración 3x15 obtuvo la mayor ductilidad con un módulo de elasticidad más bajo, permitiendo que la tasa de deformación transversal sea mucho mayor en comparación a las otras configuraciones. La tendencia que sigue por el confinamiento 3x15 es lineal en su deformación transversal, obteniendo así el mayor valor de deformación.

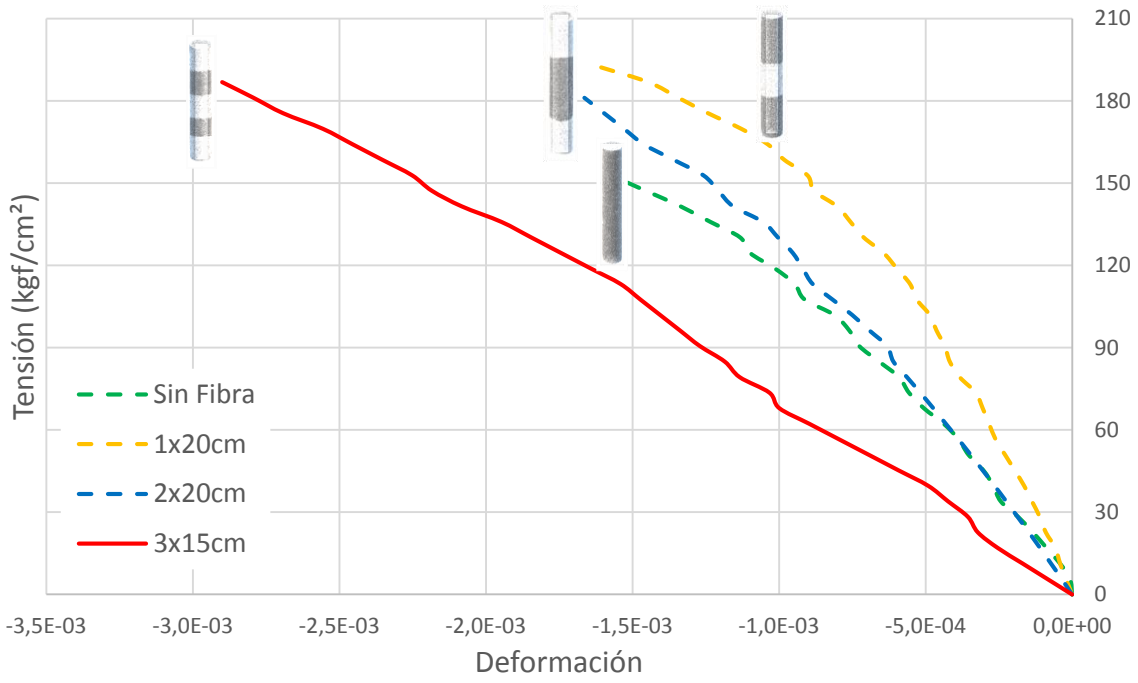


FIGURA. 19 GRÁFICO TENSIÓN - DEFORMACIÓN TRANSVERSAL MIEMBRO CONFINADO 3X15

4.2.5. Confinamiento en el extremo superior, zona central y extremo inferior (3x20)

Al evaluar la figura 20, se puede comparar la tendencia entre la configuración 1x20 y 3x20 de confinamiento, lo significa que se comporta igual hasta llegar a una tensión alrededor de 140 kgf/cm², donde empieza a ser menos pronunciada la pendiente debido al mayor porcentaje de área confinada, obteniendo una ganancia en deformación máxima del 29.39%.

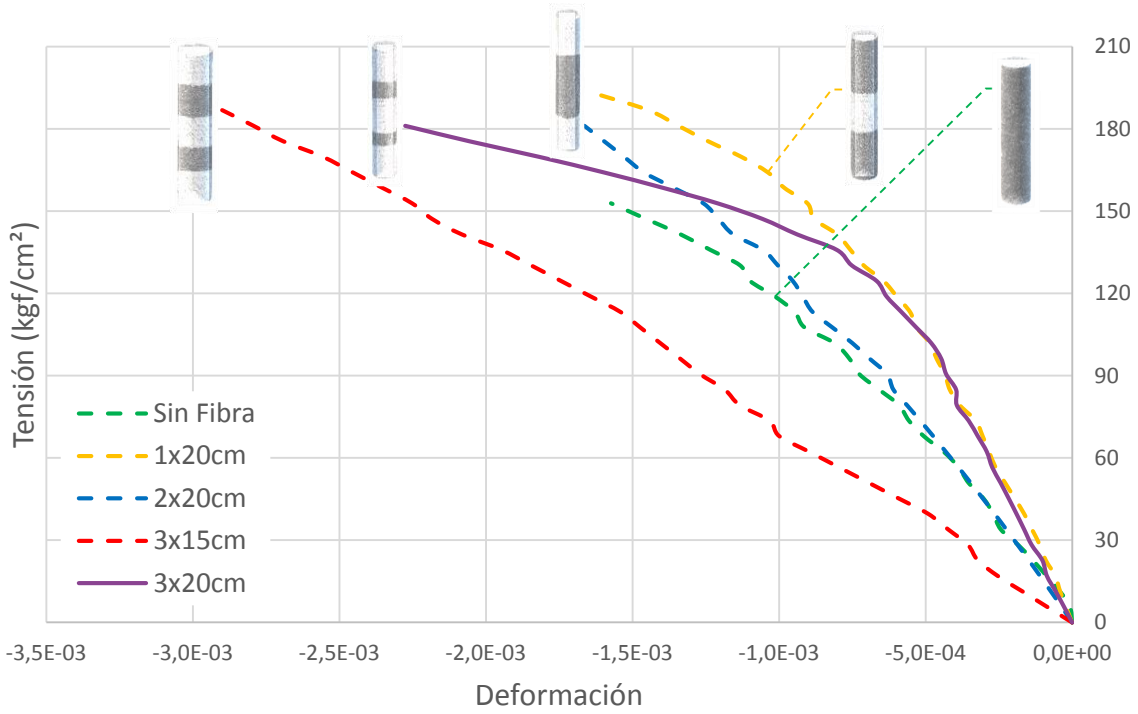


FIGURA. 20 GRÁFICO TENSIÓN - DEFORMACIÓN TRANSVERSAL MIEMBRO CONFINADO 3X20

4.3. Tensiones a tracción de la matriz en el manto de la fibra de vidrio

Las tensiones transmitidas a la matriz fibra-epoxi, se generaron debido a las deformaciones transversales durante los ensayos, 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 cilindro de pared delgada.

En la siguiente figura, al comparar los miembros cuando están sometidos a la tensión máxima de compresión, se generan cargas a tracción en el área transversal y estas se reflejan a medida que el área confinada aumenta. Considerando que la tensión a tracción que recibe el manto de fibra de vidrio también se ve incrementada debido al restricción la deformación transversal.

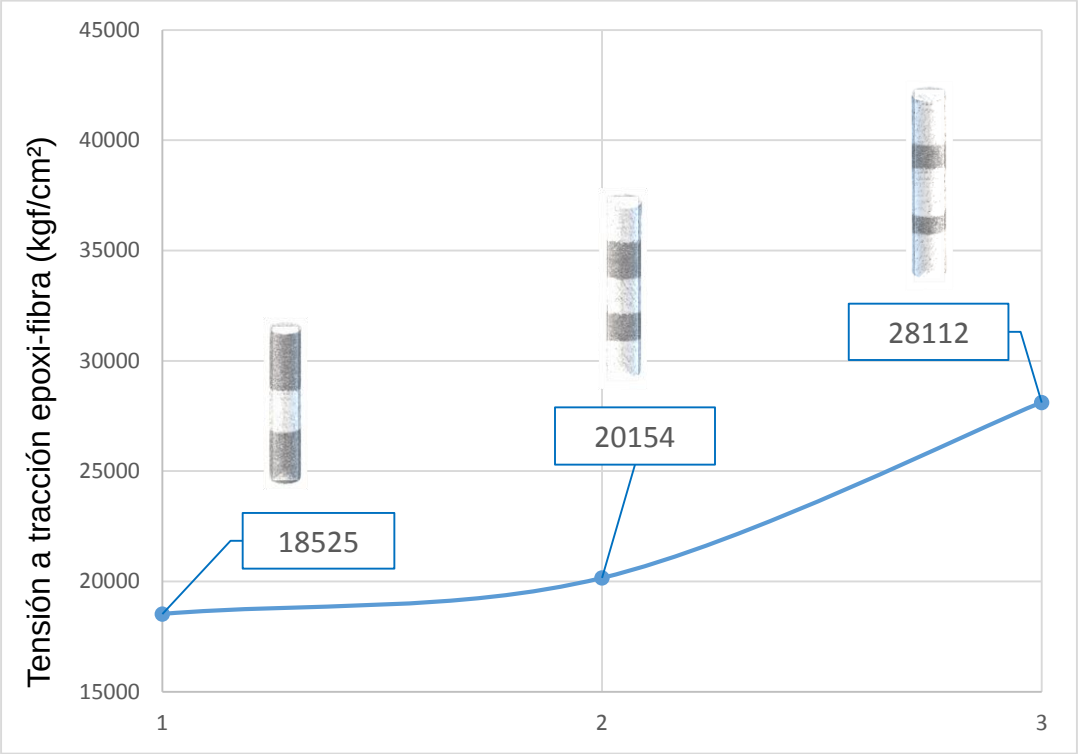


FIGURA. 21 GRÁFICO TENSIÓN EN LA MATRIZ FIBRA-EPOXI - CONFINAMIENTO DE 20 CM DE ANCHURA

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Los análisis realizados permitieron evaluar la incidencia en las diferentes configuraciones de confinamiento con mantos de fibra de vidrio sobre el comportamiento mecánico de los miembros esbeltos de concreto estructural sujeto a tensiones de compresión axial.

Partiendo de la muestra patrón como base comparativa, se demostró un incremento en la resistencia y en las deformaciones axiales al ser aplicado el exorefuerzo.

Para la configuración de una franja en el centro de 20cm de anchura (1x20) se constató una incidencia positiva en el comportamiento mecánico, permitiendo un 29% de ganancia en resistencia, mientras que en módulo de elasticidad se reflejó una disminución de 25.40%, logrando tener mayores deformaciones verticales.

Cuando cambiamos la propuesta de confinamiento a dos franjas en los extremos de 20cm (2x20) con respecto a los resultados obtenidos por 1x20, se puede observar una perdida en términos de capacidad resistente siendo 5% menor a la del miembro confinado en el tercio central. Al comparar los módulos de elasticidad se evidencia un incremento de 37.39% con esta configuración de 2x20, concluyendo que es despreciable la disminución de la resistencia, sin embargo, en términos de la rigidez revela un aumento considerablemente.

Al aumentar el área confinada con 3 franjas, colocadas en los extremos y en la zona central (3x20) la resistencia volvió a ser un factor despreciable en el incremento al compararlo con los miembros reforzados anteriormente. No obstante,

el módulo de elasticidad de esta configuración fue el mayor y limitó la deformación siendo la menor obtenida en los ensayos, por ser la configuración propuesta con 66.66% de área confinada.

Cuando se analiza la incidencia de la configuración de confinamiento en manto de fibra de vidrio sobre la deformación transversal, se obtuvieron comportamientos similares al comparar el patrón referencial con las configuraciones 1x20 y 2x20 evidenciando que el manto interviene en la deformación transversal. Sin embargo, ocurre a una tasa menor, por lo que alcanza casi la misma deformación final para todos los casos.

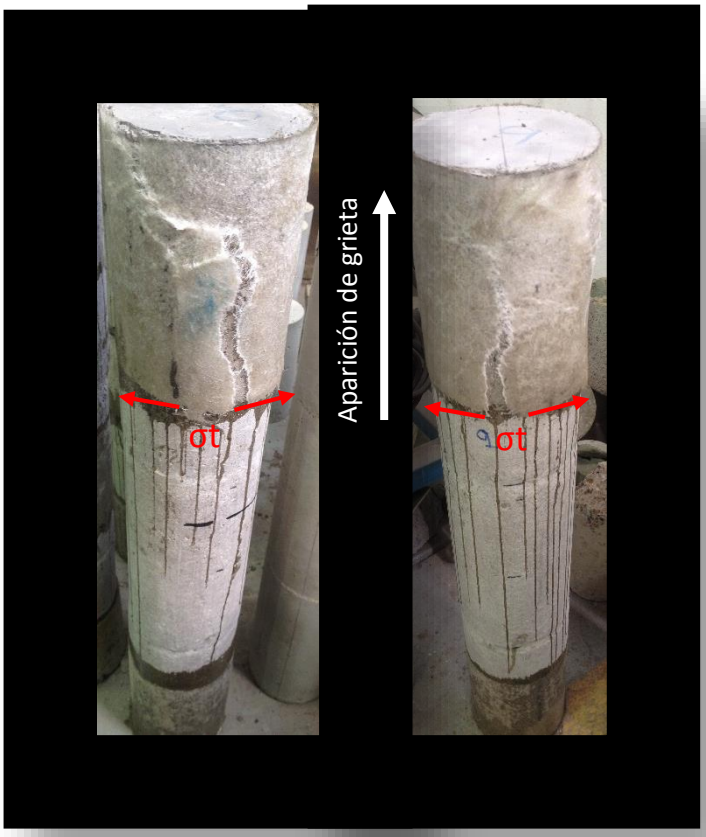
A diferencia de cuando aumentamos el área de confinamiento a 3x15 y 3x20 se puede valorar de forma más concisa la incidencia del manto, permitiendo deformaciones finales más altas. Pero al inicio de la aplicación de carga en la configuración 2x20, se comporta de una manera similar a los miembros anteriores mientras que la configuración 3x15 tiene un comportamiento lineal.

El manto de fibra recibe las tensiones transversales generadas cuando ocurre ensanchamiento al ser sometido a cargas de compresión, las cuales se comparan entre las configuraciones 1x20, 2x20 y 3x20 y se evalúa a medida que el área de confinamiento incrementa, la fibra recibirá mayor tensión transversal, restringiendo la deformación y disminuyendo las áreas vulnerables donde no hay refuerzo.

Con base en la relación de Euler, se seleccionó como condiciones de borde un comportamiento semi-empotrado en ambas caras, determinando una relación de esbeltez menor a 22, demostrando que las cargas aplicadas son mucho menores a la carga critica establecida para la cual se produce pandeo, por lo que se pueden despreciar los efectos de la esbeltez. Sin embargo, teóricamente, los miembros se consideran esbeltos, debido a que su altura es seis veces el diámetro.

El comportamiento de deformación transversal fue el esperado al momento de la realización de los ensayos, ya que todos los miembros reforzados en los extremos al llegar al punto de falla se agrietaron de la zona central hacia los extremos produciendo la ruptura de la fibra de vidrio en la misma dirección.

FIGURA. 22 FALLAS EN MIEMBROS ESBELTOS



Con respecto a la población extra de miembros de menor altura, se puedo conocer que el aumento en la capacidad de carga resistente puede despreciar ya que es menos del 5 %.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda confinar los miembros con la configuración de 3x20, debido a que se obtuvieron las mayores ganancias con respecto a la resistencia y deformaciones transversales.

Al conocer el aporte que la fibra de vidrio, se sugiere conocer la incidencia que genera el aumento por cantidad de capas de exorefuerzo a los miembros esbeltos.

Se sugiere continuar la línea de estudio para conocer la incidencia de la fibra de vidrio en miembros de sección prismática.

Se recomienda para futuros estudios de miembros esbeltos, que la realización de estos sea compactada a través de vibradores con punta de lápiz, para evitar segregaciones en la mezcla.

Realizar estudios sobre miembros de mayor altura para que se pueda considerar el efecto de esbeltez como también otro donde los miembros incluyan refuerzo con acero.

BIBLIOGRAFÍA

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

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

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

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

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

Mohr Gilbert J., "*Manual de Tecnología e Ingeniería de plásticos Reforzados/ Compuestos*"., Madrid. 1996

Malavé J., González W. *Evaluar las propiedades mecánicas de miembros cortos de concreto estructural sometidas a tensiones de compresión al estar envueltos en mantos de fibra de carbono*. Caracas, 2017, 51 h. Tesis de grado (Ingeniería Civil). Universidad Católica Andrés Bello. Facultad de Ingeniería.

López A., Starchevich G. *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.* Caracas, 2018, 55 h. Tesis de grado (Ingeniería Civil). Universidad Católica Andrés Bello. Facultad de Ingeniería.