UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE PROBETAS DE CONCRETO CONFINADAS EN FIBRA DE VIDRIO, AL ESTAR SOMETIDAS A TENSIONES DE COMPRESIÓN

Realizado por: GUÉDEZ DÍAZ, Carlos A.
SALAZAR MANEIRO, Verónica C.

Tutor: MSc. Ing. Guillermo Bonilla

Caracas, Junio 2019

UCAB Universidad Católica ANDRÉS BELLO

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE PROBETAS DE CONCRETO CONFINADAS EN FIBRA DE VIDRIO, AL ESTAR SOMETIDAS A TENSIONES DE COMPRESIÓN

Este jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo, ha evaluado su contenido con el resultado: Diecinueve (19)

TUTOR:

Nombre: Guillermo Bonilla Firma: .....

JURADO EXAMINADOR:

Nombre: Vincenzo Bonadio Firma: .....

Nombre: Wilson González Firma: .....

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Montalban

Realizado por: GUÉDEZ DÍAZ, Carlos A.
SALAZAR MANEIRO, Verónica C.

Tutor: MSc. Ing. Guillermo Bonilla

Caracas, Junio 2019.

Scanned with CamScanner

A Dios ante todo,
a mis padres, a mi familia, amigos,
y a todos los que me apoyaron.
Carlos Alberto Guédez Díaz.

A toda la gente que
me ha apoyado desde el inicio,
en especial a Chelita.
Verónica Coromoto Salazar Maneiro.

SINOPSIS

El presente Trabajo de Grado tiene como objetivo analizar el comportamiento mecánico de miembros cortos de concreto, reforzados superficialmente con anillos de fibra de vidrio. Con el fin, de evaluar las propiedades mecánicas de dichos miembros al ser sometidos a una carga monotónica creciente variando la configuración de anillos de fibra de vidrio.

Para el estudio, fueron desarrolladas 21 probetas normalizadas de concreto con dimensiones 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, de las cuales 18 recibieron exo-refuerzo en forma de anillos de 2 pulgadas de anchura y se dispusieron 3 de miembros de testigos que no recibieron exo-refuerzo.

Los miembros que contaron con el refuerzo de la fibra de vidrio fueron repartidos con las siguientes configuraciones:

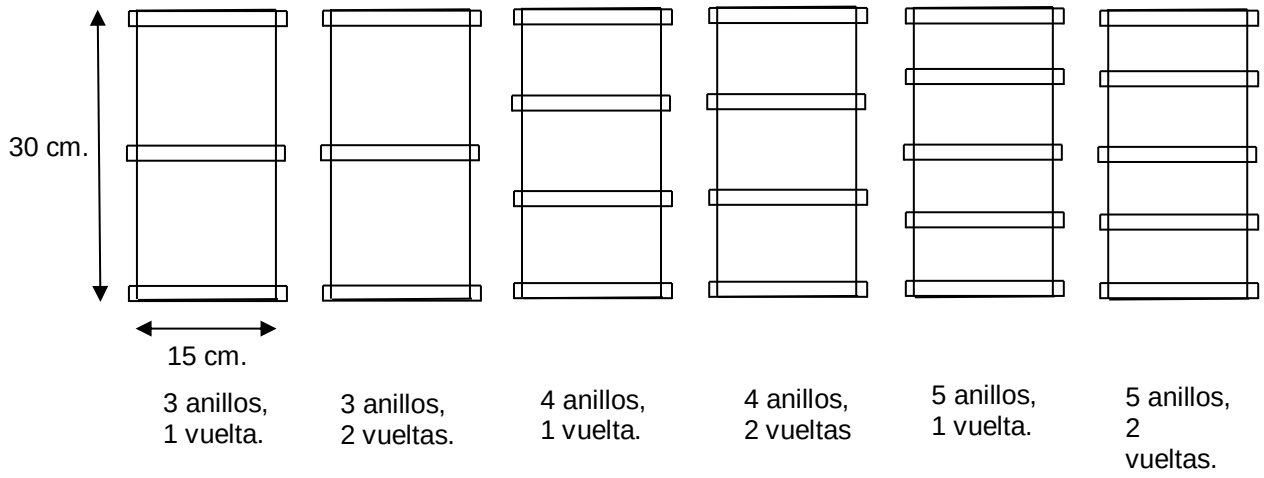


Figura 1.1. Configuraciones de colación.

Fuente: Elaboración propia.

El estudio permitió conocer los aportes que la matriz Fibra de Vidrio – Resina 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 anteriormente referida.

De igual manera, el estudio forma parte de líneas de estudio del Laboratorio de Materiales de Construcción y Tecnología del Concreto de la Universidad Católica Andrés Bello (UCAB) como aporte al desarrollo de normas COVENIN.

ÍNDICE

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN 1
1.1. Planteamiento del problema 1
1.2. Antecedentes 2
1.3. Objetivo de la investigación 5
1.3.1. Objetivo General 5
1.3.2. Objetivo Específico 5
1.4. Alcance y limitaciones 6

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO 7
2.1. Fundamentos teóricos 7
2.1.1. Materiales compuestos 7
2.1.2. Concreto 7
2.1.3. Polímeros reforzados con fibra de vidrio 8
2.1.4. Comportamiento del concreto a tensión-compresión 8
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO 10
3.1. Tipo de investigación 10
3.2. Población 10
3.3. Muestra 10
3.4. Recolección de datos 10
3.5. Equipo de aplicación de carga 10
3.6. Accesorios empleados 11
3.7. Variables estudiadas y unidades de trabajo 11
3.7.1. Variables dependientes 11
3.7.2. Variables independientes 11
3.7.3. Parámetros constantes 11
3.8. Materiales utilizados. Propiedades y características. Dosificaciones ... 12
3.8.1. Cemento 12
3.8.2. Agregado 12

3.8.2.1. Agregado grueso 12
3.8.2.2. Agregado fino 12
3.8.3. Dosificación utilizada para el concreto 12
3.8.4. Fibra de vidrio 13
3.8.5. Resina de poliéster y catalizador 13
3.8.6. Gráfica Tensión Axial – Deformación de la matriz Fibra de Vidrio – Resina de Poliéster 14
3.9. Diseño experimental 14
3.10. Fase de ejecución 15
3.10.1. Fase 1: Documentación 16
3.10.2. Fase 2: Ejecución de especímenes 16
3.10.2.1. Vaciado de especímenes 16
3.10.2.2. Curado de especímenes 17
3.10.3. Fase 3: Colocación de la fibra de vidrio 17
3.10.4. Fase 4: Ejecución de ensayos 19
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS 21
4.1. Comportamiento Tensión – Deformación Axial 21
4.1.1. Configuración referencial (no confinada) 21
4.1.2. Configuración de 3 anillos, 1 vuelta 22
4.1.3. Configuración de 3 anillos, 2 vueltas 23
4.1.4. Configuración de 4 anillos, 1 vuelta 24
4.1.5. Configuración de 4 anillos, 2 vueltas 25
4.1.6. Configuración de 5 anillos, 1 vuelta 27
4.1.7. Configuración de 5 anillos, 2 vueltas 28
4.1.8. Relación Tensión/Tensión Máxima y relación Deformación/Deformación Máxima 30
4.2. Comportamiento Tensión – Deformación Transversal 32
4.2.1. Configuración referencial (no confinada) 32
4.2.2. Configuración de 3 anillos, 1 vuelta 33
4.2.3. Configuración de 3 anillos, 2 vueltas 34

4.2.4. Configuración de 4 anillos, 1 vuelta ……..…….…. 35
4.2.5. Configuración de 4 anillos, 2 vueltas ……..……. 36
4.2.6. Configuración de 5 anillos, 1 vuelta ……. 38
4.2.7. Configuración de 5 anillos, 2 vueltas ……..……..……. 39
4.3. Tabla resumen …….. 40
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES …….. 41
5.1. Conclusiones …….…… 41
5.2. Recomendaciones …… 44
BIBLIOGRAFÍA …… 46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Configuraciones de colocación ……..……..……... IV, 14
Figura 2.1. Relación entre la relación esfuerzo a resistencia y la deformación para concretos de distintas resistencias …….…… 9
Figura 3.1. Gráfico Tensión Axial – Deformación de banda de fibra de vidrio ……. 14
Figura 3.2. Fases de ejecución de la investigación …….…. 15
Figura 3.3. Ejecución de especímenes ……. 16
Figura 3.4. Vaciado de especímenes …….…… 16
Figura 3.5. Fresado de especímenes ……... 18
Figura 3.6. Preparación de bandas de fibra de vidrio ……. 18
Figura 3.7. Colocación de bandas de fibra de vidrio y resina …….. 19
Figura 3.8. Probetas después de la colocación de las bandas de fibra de vidrio … 19
Figura 3.9. Montaje de las probetas en la prensa ……. 20
Figura 4.1. Gráfico Tensión – Deformación Axial promedio de miembros del configuración referencial ……..…….…. 22
Figura 4.2. Gráfico Tensión – Deformación Axial promedio de miembros del configuración referencial y 3 anillos 1 vuelta …….…….…. 23
Figura 4.3. Gráfico Tensión – Deformación Axial promedio de miembros del configuración 3 anillos 1 vuelta y 3 anillos 2 vueltas …….…. 24
Figura 4.4. Gráfico Tensión – Deformación Axial promedio de miembros del configuración 3 anillos 1 vuelta y 4 anillos 1 vuelta ……..…….…… 25
Figura 4.5. Gráfico Tensión – Deformación Axial promedio de miembros del configuración 4 anillos 1 vuelta y 4 anillos 2 vueltas …….…….…. 26
Figura 4.6. Gráfico Tensión - Deformación Axial promedio de miembros de la configuración 3 anillos 2 vueltas y 4 anillos 2 vueltas ……..……..…… 27
Figura 4.7. Gráfico Tensión – Deformación Axial promedio de miembros del configuración 4 anillos 1 vuelta y 5 anillos 1 vuelta ……..…… 28

Figura 4.8. Gráfico Tensión – Deformación Axial promedio de miembros del configuración 5 anillos 1 vuelta y 5 anillos 2 vueltas ……..…. 29
Figura 4.9. Gráfico Tensión – Deformación Axial promedio de miembros del configuración 4 anillos 2 vueltas y 5 anillos 2 vueltas …….....…. 30
Figura 4.10. Gráfico relación Tensión/Tensión máxima y relación Deformación/Deformación máxima …….……..……..……. 31
Figura 4.11. Gráfico Tensión – Deformación Transversal promedio de miembros del configuración referencial ……..…….……. 33
Figura 4.12. Gráfico Tensión – Deformación Transversal promedio de miembros del configuración referencial y 3 anillos 1 vuelta …….……. 34
Figura 4.13. Gráfico Tensión - Deformación Transversal del miembro configuración 3 anillos 1 vuelta y 3 anillos 2 vueltas ……..……. 35
Figura 4.14. Gráfico Tensión – Deformación Transversal promedio de miembros del configuración 3 anillos 1 vuelta y 4 anillos 1 vuelta ……..……. 36
Figura 4.15. Gráfico Tensión – Deformación Transversal promedio de miembros del configuración 4 anillos 1 vuelta y 4 anillos 2 vuelta …….…. 37
Figura 4.16. Gráfico Tensión -Deformación Transversal del miembro 3 anillos 2 vueltas y 4 anillos 2 vueltas …….……..……. 37
Figura 4.17. Gráfico Tensión – Deformación Transversal promedio de miembros del configuración 4 anillos 1 vuelta y 5 anillos 1 vuelta ……..……. 38
Figura 4.18. Gráfico Tensión – Deformación Transversal promedio de miembros del configuración 5 anillos 1 vuelta y 5 anillos 2 vueltas ……..……. 39
Figura 4.19. Gráfico Tensión – Deformación Transversal promedio de miembros del configuración 4 anillos 2 vueltas y 5 anillos 2 vueltas ……. 40
Figura 5.1. Gráfico Resistencia – Configuración de anillos ……..……. 42
Figura 5.2. Gráfico Módulo de Elasticidad – Configuración de anillos …….…. 43
Figura 5.3. Gráfico Deformaciones Transversales – Configuración de anillos ..…. 44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Características del agregado grueso 12
Tabla 3.2. Características del agregado fino 12
Tabla 3.3. Tabla de dosificación 12
Tabla 3.4. Características de la fibra de vidrio 13
Tabla 3.5. Características de la resina de poliéster 13
Tabla 3.6. Características del catalizador 13
Tabla 3.7. Cantidad de cilindros por configuración 15
Tabla 4.1. Tabla resumen 40

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del Problema.

En la actualidad diversas estructuras de concreto reforzado presentan daños que comprometen su integridad, hasta el punto que pueden llegar al colapso. Esto debido a fallas en resistencia por distintos problemas como la calidad de los agregados, cemento, métodos constructivos y fenómenos naturales que no fueron contemplados en los cálculos.

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, el reforzamiento con perfiles metálicos, el aumento de secciones con morteros de altas resistencias, la aplicación de fibra de carbono; así como de distintos otros materiales y fibras.

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 y costos. Entre ellos, la colocación de fibra de vidrio en concreto estructural mediante resinas, permiten reforzar edificaciones con problemas estructurales derivados de baja resistencia.

En el mismo orden de ideas, la tendencia mundial es el refuerzo superficial mediante fibra de carbono (CFRP), pero los costos resultan muy altos aunado a que esta solución conlleva a un exceso de capacidad y ductilidad en el miembro que puede resultar innecesario (González y Malabeth, 2017; y López y Strachevich, 2018), lo cual se hace necesario profundizar en la variante con bandas de fibras de vidrio (GRC).

1.2. Antecedentes.

A continuación se presenta una lista bibliográfica reciente referida a las propiedades ingenieriles y el uso estructural de la fibra de vidrio como refuerzo para miembros cortos de concreto:

Fernández, E.
Universidad Católica Andrés Bello. 1978.
Tutor: Ing. Álvaro Espinoza.

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

Se realizó el estudio de las propiedades físicas de la resina Epoxi en miembros cortos de concreto que ya presentaban daños y podrían ser reparados, concluyendo así que dichas resinas adquieren propiedades mecánicas superiores a las del concreto.

Rodríguez J., Quintero S.
Universidad Católica Andrés Bello. 2008.
Tutor: Ing. MSc. Guillermo Bonilla.

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.

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 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.

Durán, C.
Universidad Autónima de México, Ciudad de México, México. 2008.
Tutor: Dr. Roberto Meli.

Título: *Refuerzo con bandas de fibra de carbono (CFRP) en columnas cortas de concreto reforzado*. Trabajo Especial de Grado. Universidad Autónima de México, Ciudad de México, México.

Se realizó el estudio en columnas cortas de concreto reforzadas con bandas de fibra de carbono (CFRP) al estar sometidas a ciclos de cargas, deduciendo así un pequeño aumento en la capacidad de carga.

Morales Ortuño, S.
Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México. 2008.
Tutores: M. en C. Samuel Carman Avendaño y, Lic. José Raúl Peña Sandoval.

Título: *Fibra de vidrio, pruebas y aplicaciones.* Trabajo Especial de Grado. Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México.

Se realizan estudios para predecir el comportamiento de la fibra de vidrio a la interperie y su respuesta a las condiciones climatológicas basándose en pruebas experimentales en diferentes usos como material de construcción de muelles, recubrimiento de cilindros, escaleras, entre otros.

Enfedaque Díaz, A.
Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España. 2008.
Tutor: Ing. Vicente Sánchez Gálvez.

Título: *Resistencia a impactos de morteros de cemento reforzados con fibra de vidrio (GRC)*, Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.

Estudia las propiedades mecánicas de morteros de cemento reforzados con fibra de vidrio, concluyendo así que aumenta la resistencia a compresión del cemento. Sin embargo, el paso del tiempo afecta a las propiedades del cemento reforzado con fibra de vidrio. El material se vuelve frágil, pierde su ductilidad y se puede considerar que tiene un comportamiento elástico y lineal hasta su rotura similar al del mortero de cemento sin fibras.

Das Neves D., Frade A.
Universidad Católica Andrés Bello. 2013.
Tutor: Ing. MSc. Guillermo Bonilla.

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.

El estudio se basó en el comportamiento de vigas llevadas a la falla por corte y a su 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.

González, W. y Malabeth J.
Universidad Católica Andrés Bello. 2017.
Tutor: Ing. MSc. Guillermo Bonilla.

Título: Evaluar propiedades mecánicas de miembros cortos de concreto estructural sometidos a tensiones de compresión al estar envueltos en mantos de fibra de carbono. Tesis Especial de Grado. Universidad Católica Andrés Bello.

El tema analiza el comportamiento mecánico de miembros cortos de concreto confinados con manto en fibra de carbono. En este caso, fueron evaluadas las propiedades mecánicas de dicho miembros al ser sometidos a una carga monolítica creciente variando la proporción de altura confinada. Concluyendo así, que los casos en donde existen masas de concreto expuestas, la falla del miembro ocurre antes de alcanzarse la tensión máxima permitida por la matriz Fibra – Epoxi, principalmente por fallos en la interfaz Mortero – Agregado dentro del concreto, esto indica que la capacidad de la fibra no es aprovechada plenamente, principalmente el aporte en términos de ductilidad.

1.3. Objetivo de la investigación.

1.3.1. Objetivo General.

Analizar las propiedades mecánicas de probetas cilíndricas de concreto, confinadas con fibra de vidrio, al ser sometidas a tensiones de compresión.

1.3.2. Objetivos Específicos.

- Analizar la incidencia de la configuración de confinamiento en fibra de vidrio, sobre cilindros de concreto estandarizados en la variable deformación axial, al estar sometidos a tensiones de compresión.

- Evaluar la incidencia de la configuración de confinamiento en fibra de vidrio, sobre cilindros de concreto estandarizados en la variable deformación transversal, al estar sometidos a tensiones de compresión.

1.4. Alcance y limitaciones.

El trabajo está orientado al concreto estructural desarrollado con piedra picada, arena natural de río y cemento Portland Tipo I. Para la fibra de vidrio fue de tipo MAT 450 Gr/m2; resina de poliéster insaturada tipo Ortoftálico POLY-3703N y catalizador CUROX M-302 distribuido por Vitrofibras de Venezuela C.A.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1. Fundamentos Teóricos.

2.1.1. Materiales compuestos.

Los materiales compuestos son aquellos formados por dos o más materiales distintos sin que se produzca reacción química entre ellos pero, al trabajar en conjunto, obtienen beneficios en sus propiedades mecánicas a pesar de poseer características específicas diferentes.

Todo material compuesto tiene dos componentes:

- La Matriz: es un componente que se presenta en fase continua, actuando como ligante.
- El Refuerzo: en fase discontinua, que es el elemento resistente.

El concreto reforzado es un ejemplo de un material compuesto, al igual que concretos que incluyen materiales tipo plásticos reforzados con fibras de vidrio (GFRP) o de carbono (CFRP).

2.1.2. Concreto.

El concreto es una mezcla de cemento, agregado fino, agregado grueso y agua en proporciones adecuadas para obtener la construcción de elementos estructurales para edificaciones.

2.1.3. Polímeros reforzados con fibra de vidrio.

Los materiales compuestos de polímero reforzado con fibra (FRP) se han convertido en materiales de construcción económicamente y estructuralmente viables para edificios y puentes.

Los materiales compuestos de FRP utilizados en ingeniería estructural suelen consistir en fibras de vidrio, carbono o aramida encerradas en una matriz de resinas termoestables epoxi, poliéster, viniléster o fenólicas que tienen concentraciones de fibra superiores al 30% en volumen. Se han utilizado en ingeniería estructural en una variedad de formas: desde perfiles estructurales hasta barras internas reforzadas para elementos de concreto, hasta tiras y láminas para refuerzo externo de concreto y otras estructuras. Dependiendo de la forma del producto de FRP utilizado en ingeniería estructural, el material de FRP se suministra como un componente estructural listo para usar, como un perfil de ala ancha o una barra de refuerzo, o se suministra en sus formas constituyentes como seco resina polimérica líquida y de fibra, formada y curada in situ para crear un componente estructural. (Bank, 2006).

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

2.1.4. Comportamiento del concreto a tensión-compresión.

Las formas de la curva tensión- deformación del concreto, 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.

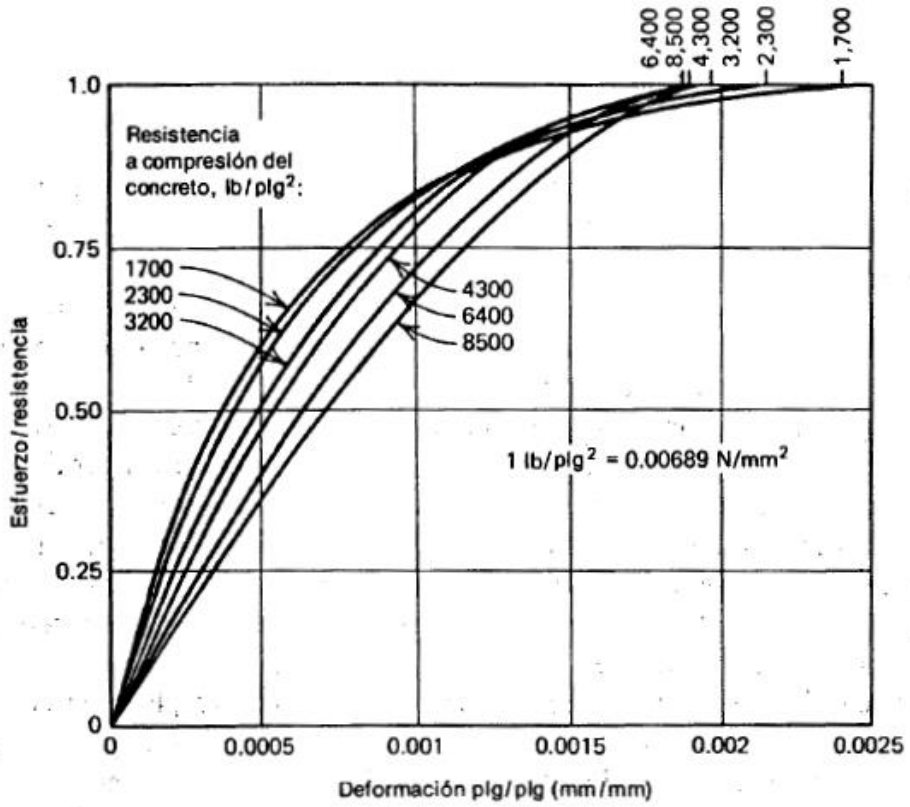


Figura 2.1. Relación entre la relación esfuerzo a resistencia y la deformación para concretos de distintas resistencias.

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

CAPÍTULO III
MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de investigación.

La investigación fue de carácter experimental, exploratorio, y descriptivo.

3.2. Población.

Para este trabajo de investigación la población estuvo conformada por un total de 21 cilindros.

3.3. Muestra.

La muestra estuvo referida por los 21 cilindros normalizados definidos en la población.

3.4. Recolección de datos.

Los datos experimentales fueron obtenidos mediante el uso de relojes comparadores para medir las deformaciones axiales y transversales, captadas de forma audiovisual y electrónica para luego los resultados obtenidos, ser manejados en hojas de cálculo.

3.5. Equipo de aplicación de carga.

Prensa Universal Baldwin modelo #49850 100 toneladas de capacidad del Laboratorio de Materiales de Construcción de la Universidad Católica Andrés Bello.

3.6. Accesorios empleados.

- Relojes comparadores de deformación lineal.

3.7. Variables estudiadas y unidades de trabajo.

3.7.1. Variables dependientes:

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

3.7.2. Variables independientes:

- Resistencia a compresión del concreto: kgf/cm^2.
- Altura de confinamiento: cm.

3.7.3. Parámetros constantes:

- Periodo de curado del concreto: 28 días.
- Lapso de adherencia Fibra – Resina: 3 días.
- Velocidad de aplicación de carga: kgf/s.

3.8. Materiales utilizados. Propiedades y características. Dosificaciones.

3.8.1. Cemento.

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

3.8.2. Agregado.

3.8.2.1. Agregado Grueso.

Agregado Grueso	
Tamaño máximo (pulgadas)	3/4
Densidad (kg/m³)	2.65
Humedad %	0

Tabla 3.1. Características del agregado grueso.

3.8.2.2. Agregado Fino.

Agregado Fino	
Pasante Tamiz #	4
Densidad (kg/m³)	2.60
Humedad %	0.50

Tabla 3.2. Características del agregado fino.

3.8.3. Dosificación utilizada para el concreto.

Dosificación			
Cemento	**Agregado Grueso**	**Agregado Fino**	**Agua**
370,89	741,79	1019,96	245,4

Tabla 3.3. Tabla de dosificación (las cantidades se encuentran expresadas por m³)

3.8.4. Fibra de Vidrio

Fibra de Vidrio	
Peso ISO3374 (gr/m²)	450
Altura de la cinta (pulgadas)	2
Contenido de humedad % ISO3344	< 0.10
Resistencia a tracción D638 (Mpa)	88
Módulo de tracción D638 (Gpa)	9.80
Resistencia a la flexión D790 (Mpa)	175
Módulo a la flexión D790 (Gpa)	6.70
Contenido de vidrio % D2584	30.80

Tabla 3.4. Características de la fibra de vidrio (según las normas ASTM).

3.8.5. Resina de poliéster y catalizador.

Resina de Poliéster	
Viscosidad Broolfield @ 25°C (Cps)	350 - 650
Peso específico @ 25°C (gr/cc)	1.085 – 1.125
Dureza Barcol D2583	40 - 45
Resistencia a la ruptura D638 (kgf/cm²)	450 - 550
Elongación en la rotura @ 25°C D638 (kgf/cm²)	2.10 – 2.20
Máxima absorción de agua % D570	0.30
Módulo de flexión D790 (kgf/cm² x 10⁴)	2.20 – 2.50
Resistencia a la flexión D790 (kgf/cm² x 10³)	1.50 – 1.70
Encogimiento %	4
Distorsión al calor @ 26°C D648	N/A

Tabla 3.5. Características de la resina de poliéster (según las normas ASTM).

Catalizador	
Cantidad de oxígeno activo % w/w	6
Densidad @ 20°C (gr/cm³)	1.02
Viscosidad @ 20°C (mPas)	13

Tabla 3.6. Características del catalizador (según las normas ASTM).

3.8.6. Gráfica Tensión Axial – Deformación de la matriz Fibra de Vidrio – Resina de Poliéster.

Figura 3.1. Gráfico Tensión Axial – Deformación de banda de fibra de vidrio.

3.9. Diseño experimental.

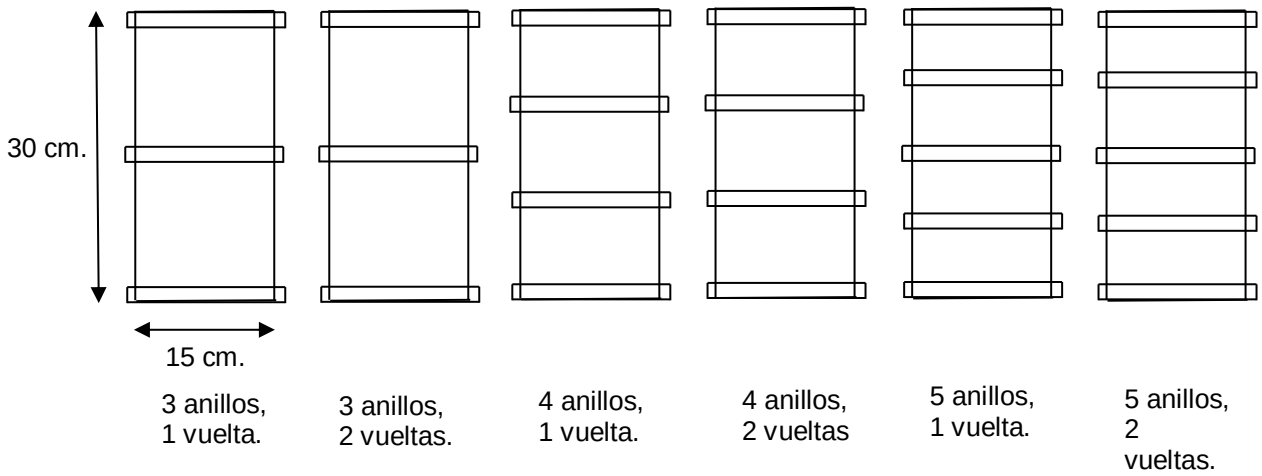


Figura 1.1. Configuraciones de colocación.

Fuente: Elaboración propia.

Cantidad de cilindros	1 giro	2 giros
3 anillos	3	3
4 anillos	3	3
5 anillos	3	3

Tabla 3.7. Cantidad de cilindros por configuración.

El ensayo a compresión fue ejecutado en la Prensa Universal Baldwin de 100 toneladas, y relojes que midieron deformaciones axiales y transversales a medida de que se le iba aplicando las cargas monotónicas.

3.10. Fase de ejecución.

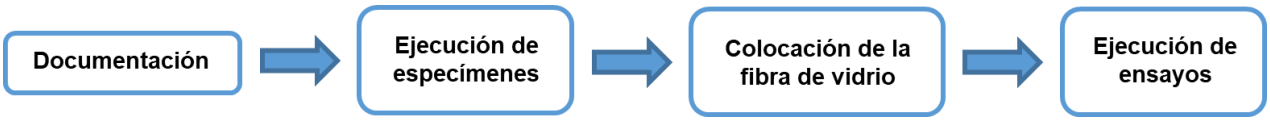


Figura 3.2. Fases de ejecución de la investigación.

Fuente: Elaboración Propia.

3.10.1. Fase 1: Documentación.

En esta fase se procedió a investigar y documentar sobre el aporte de la fibra de vidrio en elementos estructurales hacia las propiedades mecánicas de estos, sometidos a solicitaciones. Con la finalidad de establecer los alcances, limitaciones y acordar las variables dependientes e independientes.

3.10.2. Fase 2: Ejecución de especímenes.

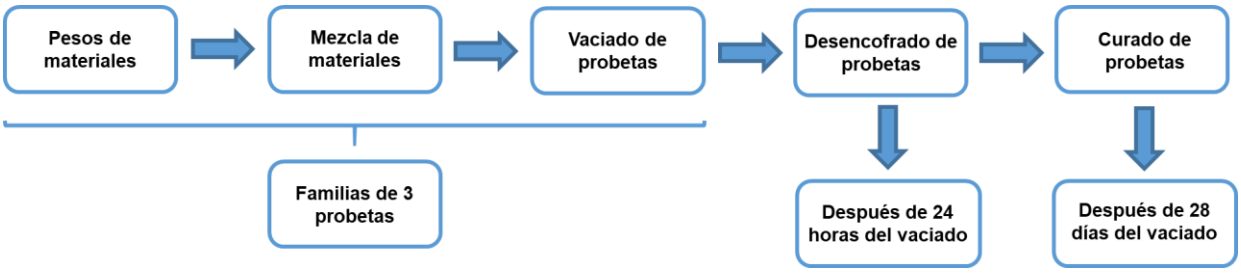


Figura 3.3. Ejecución de especímenes.

Fuente: Elaboración Propia.

3.10.2.1. Vaciado de especímenes.

Cada vaciado consistió en una familia de tres (3) cilindros, los cuales formaban un grupo con su respectiva configuración de fibra. Previo a esto, se separaron y pesaron los materiales por familia.

Figura 3.4. Vaciado de especímenes.

Fuente: Elaboración Propia.

3.10.2.2. 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 los probetas en cámaras de agua durante 28 días, de esta manera se aseguraron las condiciones de humedad para un correcto curado del concreto.

3.10.3. Fase 3: Colocación de la fibra de vidrio.

Para la colocación del manto de fibra de vidrio, las probetas fueron previamente preparadas, para ello se procedió a debastar la superficie con un esmeril, y luego se limpió con agua para eliminar cualquier partícula y/o polvo que debiliten la adherencia resina – concreto.

Luego se procedió a preparar la fibra para su colocación, para ello se utilizaron las bandas de fibra de vidrio, con una longitud que procure un solape de 10 centímetros al momento de colocar la fibra alrededor de la probeta.

Finalmente, se procedió a la preparación de la resina de poliéster, para luego colocar una película de la misma sobre la superficie de la probeta, luego la cinta de fibra de vidrio previamente preparada, otra capa de resina procurando la saturación del mismo, para esta actividad se utilizó un rodillo y brocha.

Para la preparación de la resina de poliéster fue: por cada cien (100) mililitros de resina de poliéster, se le agregó 30 gotas de catalizador al 6%.

Figura 3.5. Fresado de especímenes.

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 3.6. Preparación de bandas de fibra de vidrio y resina.

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 3.7. Colocación de bandas de fibra de vidrio y resina.

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 3.8. Probetas después de la colocación de las bandas de fibra de vidrio.

Fuente: Elaboración Propia.

3.10.4. Fase 4: Ejecución de ensayos.

Se realizó el ensayo de compresión manteniendo una velocidad de aplicación de carga constante a lo largo de toda la ejecución, con el fin de no afectar el

comportamiento de la gráfica Tensión – Deformación. Igualmente, se colocaron relojes comparadores de deformación de manera en que marquen las deformaciones axiales y transversales a medida que se le iba aplicando las cargas al momento del ensayo a compresión. Igualmente, cada medida de deformación se realizó en la zona central de los miembros.

Las deformaciones axiales se midieron con respecto a la altura de la probeta, mientras que las transversales se midieron de forma radial.

Figura 3.9. Montaje de probetas en la prensa.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados y análisis presentes pertenecen al promedio de las mediciones obtenidas de las tres (3) probetas correspondientes a cada configuración de refuerzo.

4.1. Comportamiento Tensión – Deformación Axial.

4.1.1. Configuración referencial (no confinada).

Los miembros referenciales o testigos tienen la función de ser muestras de comparación con las que fueron reforzados en sus diferentes configuraciones, para así evaluar la variabilidad en sus propiedades mecánicas entre ellos.

La Figura 4.1. muestra la probeta referencial, es decir, aquella que no fue reforzada con fibra de vidrio. Ella obtuvo un comportamiento típico de una probeta cilíndrica normalizada sometida a tensiones de compresión, con un incremento de deformación axial a medida de que se le colocaron cargas con una velocidad de aplicación constante, donde la curva se comporta de forma casi lineal y alcanza una deformación de 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 obtenida fue de 200 kgf/cm^2 y el módulo de elasticidad fue de 111.700 kgf/cm^2 calculada como la pendiente de la recta tangente a esta curva.

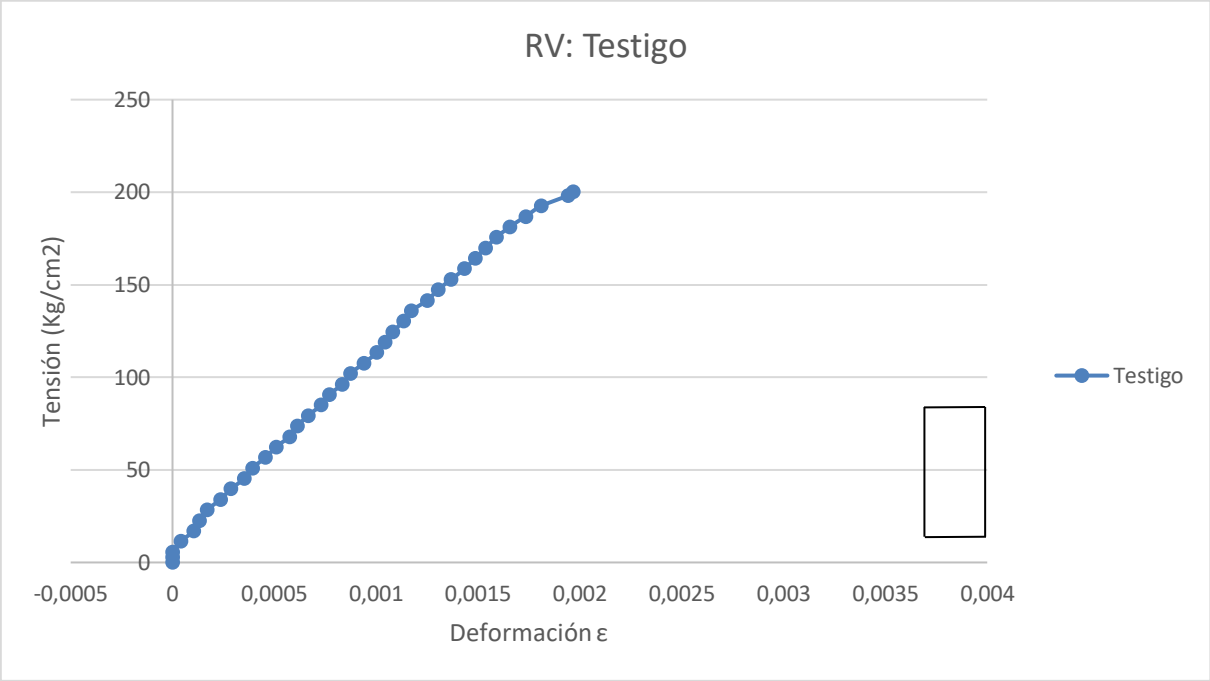


Figura 4.1. Gráfico Tensión-Deformación Axial promedio de miembros de la configuración referencial.

4.1.2. Configuración de 3 anillos, 1 vuelta.

Al observar la Figura 4.2., miembro con 3 anillos y 1 vuelta con un solape de 10cm en cada anillo, se aprecia un comportamiento similar a la muestra de la configuración referencial. Esta configuración obtuvo una resistencia de 205 kgf/cm^2 y un módulo de elasticidad de 194.000 kgf/cm^2, representando así un incremento de 2,52% y 42,37% respectivamente, esta variación se genera por el confinamiento que brindan los anillos restringiendo las deformaciones transversales, por lo que genera un incremento de la pendiente de la curva.

Ambas probetas tuvieron un comportamiento típico de materiales frágiles, demostrando la ausencia de ductilidad, ya que una vez alcanzada la capacidad máxima de estas, se produjo la falla.

En el mismo orden de ideas, se obtuvo una deformación menor que el miembro sin configuración, debido al cofinamiento de la matriz Fibra-Resina que no le permitió deformarse de manera natural a como se comportó el testigo.

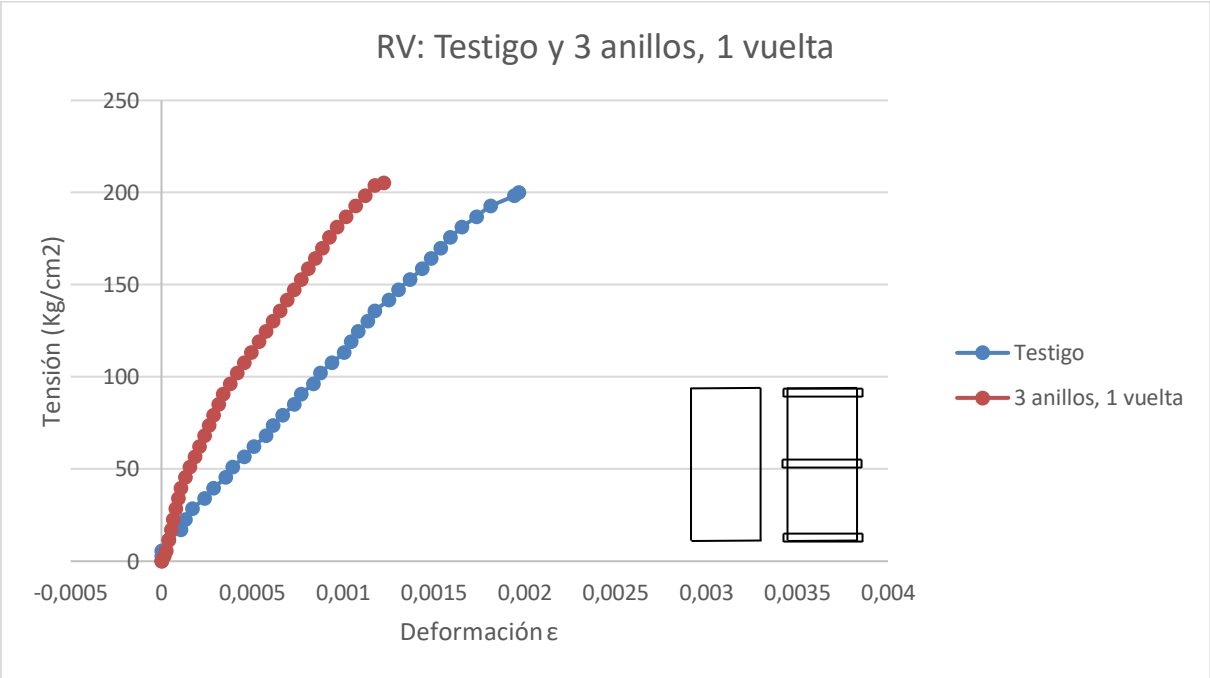


Figura 4.2. Gráfico Tensión-Deformación Axial promedio de miembros de la configuración referencial y 3 anillos 1 vuelta.

4.1.3. Configuración de 3 anillos, 2 vueltas.

En la Figura 4.3., se representa la curva Tensión – Deformación Axial del miembro 3 anillos y 2 vueltas con el de 3 anillos y 1 vuelta, en donde se aprecia un cambio de pendiente, resultando así un cambio en el módulo de elasticidad. Esta configuración obtuvo una resistencia de 215 kgf/cm^2 y un módulo de elasticidad de 165.300 kgf/cm^2, representando así un incremento de 4,96% y una disminución de 17,25% respectivamente. El efecto del confinamiento, generó un cambio de pendiente para esta configuración que produjo una disminución del módulo de elasticidad.

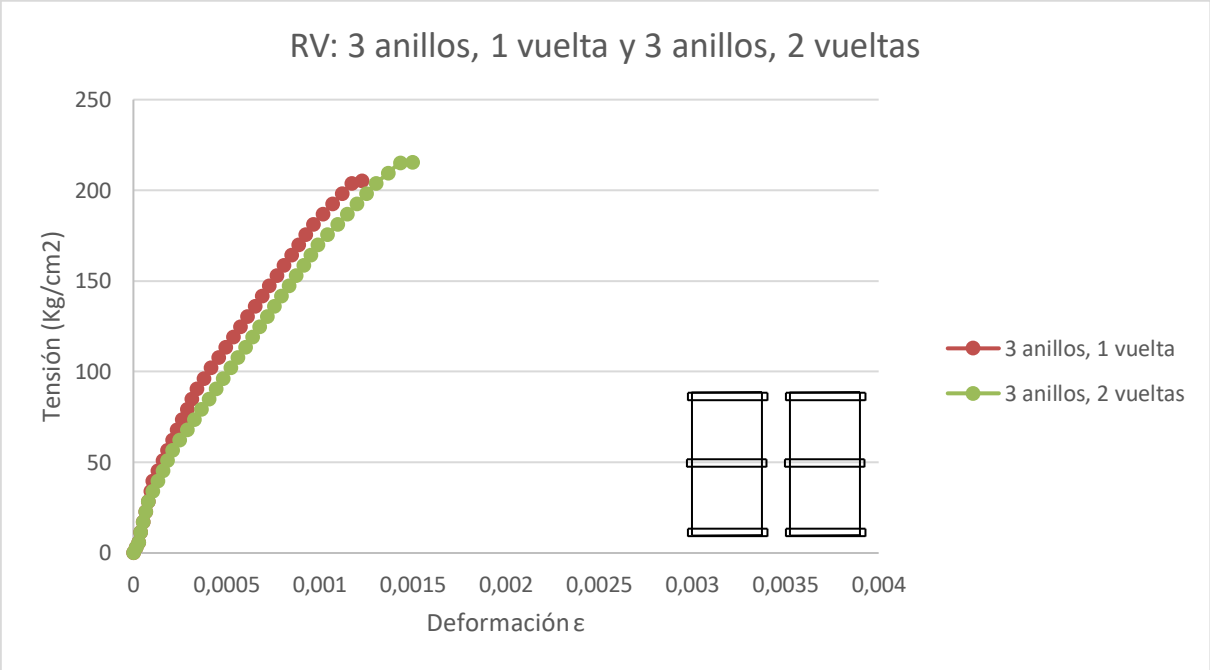


Figura 4.3. Gráfico Tensión-Deformación Axial promedio de miembros de la configuración 3 anillos 1 vuelta y 3 anillos 2 vueltas.

4.1.4. Configuración de 4 anillos,1 vuelta.

Este configuración obtuvo una resistencia de 225 kgf/cm^2 y un módulo de elasticidad de 139.700 kgf/cm^2 .

En la Figura 4.4. se observa la ganancia en términos de capacidad resistente y una disminución del módulo de elasticidad con respecto al configuración de 3 anillos 1 vuelta, obteniendo un incremento de 9,86% de la resistencia y una disminución de 38,69% en el módulo de elasticidad. Esta variación en el módulo de elasticidad se genera al restringirse las deformaciones transversales, por lo cual la deformación axial se produce a un ritmo menor cambiando la pendiente de la curva, trayendo como consecuencia un aumento en la tensión máxima soportada por el configuración de 4 anillos 1 vuelta.

Es importante resaltar que las deformaciones transversales fueron medidas en la zona central de la probeta para todas las configuraciones, debido a que se produce la mayor deformación.

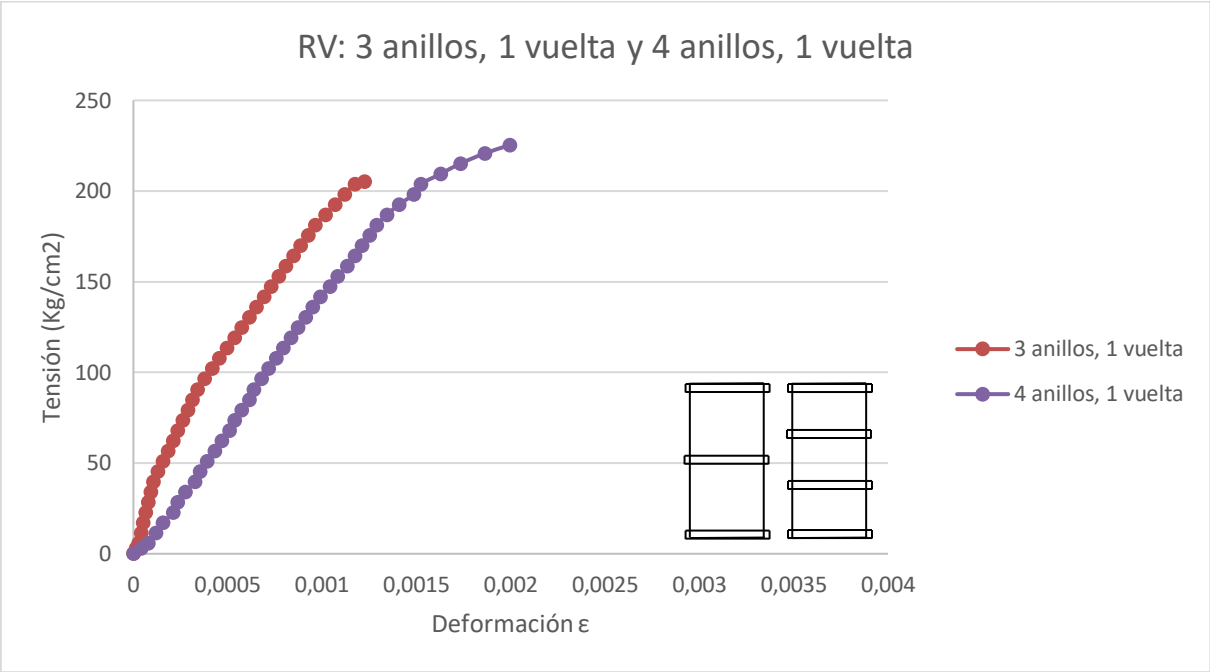


Figura 4.4. Gráfico Tensión-Deformación Axial promedio de miembros de la configuración 3 anillos 1 vuelta y 4 anillos 1 vuelta.

4.1.5. Configuración de 4 anillos, 2 vueltas.

Para esta configuración, se obtuvo una resistencia a compresión de 225 kgf/cm^2 y de módulo de elasticidad de 122.400 kgf/cm^2

La Figura 4.5. muestra la curvas correspondientes al configuración de 4 anillos 2 vueltas con respecto 4 anillos 1 vuelta, obteniendo así un incremento despreciable en las resistencias y una disminución de 14,12% en su módulo de elasticidad.

La variación de las deformaciones y tensiones entre estos dos configuraciones es despreciable, por lo cual, poseen el mismo comportamiento.

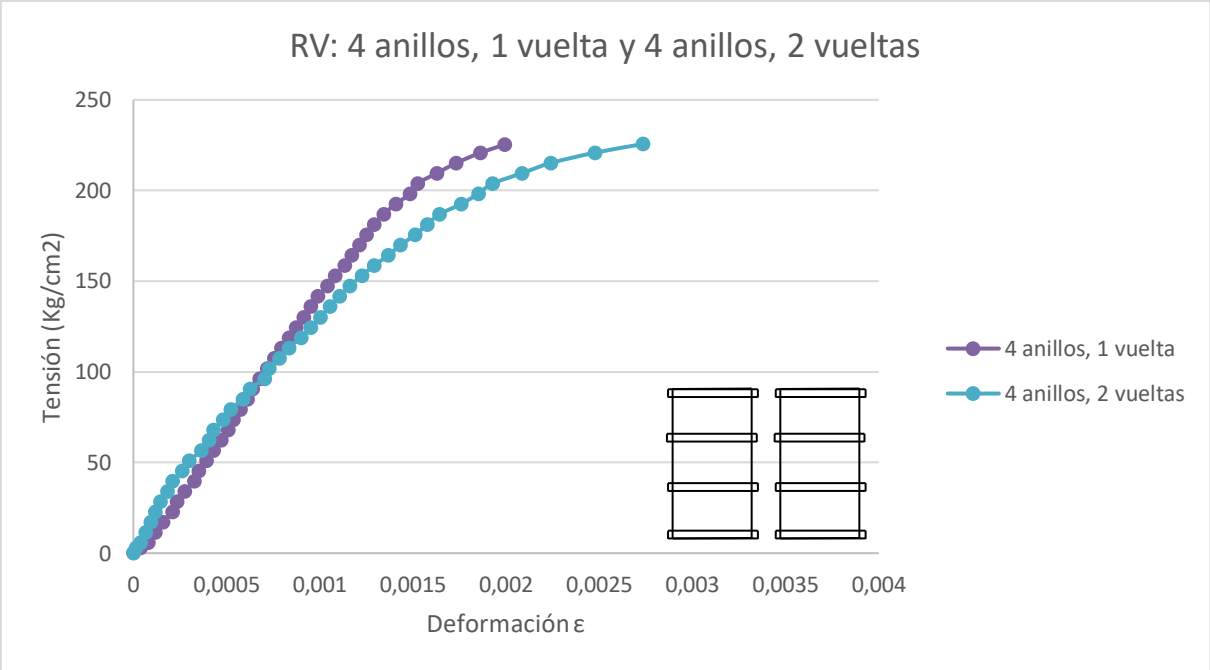


Figura 4.5. Gráfico Tensión-Deformación Axial promedio de miembros de la configuración 4 anillos 1 vuelta y 4 anillos 2 vueltas.

En la figura 4.6. se observa un incremento en la resistencia 4,77% y una disminución del módulo de elasticidad debido 34,98% con respecto a 3 anillos 2 vueltas. Esta disminución se genera por una pérdida en la capacidad de confinamiento debido a los espacios vacíos próximos a la zona central de la probeta que permite mayores deformaciones.

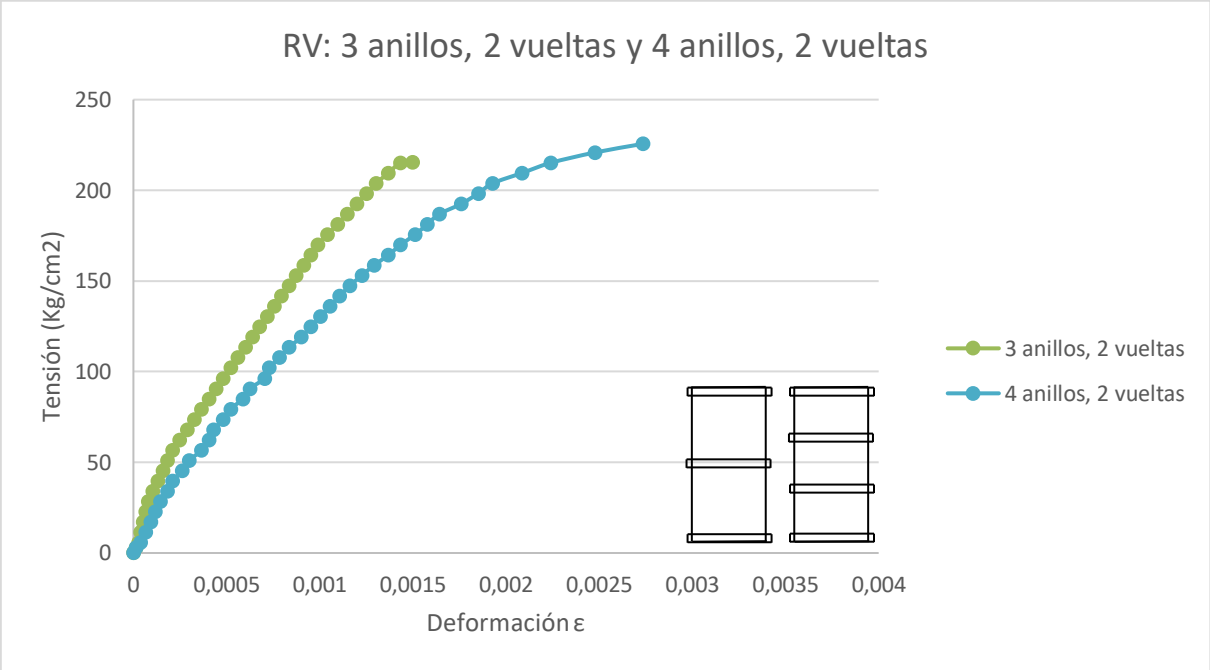


Figura 4.6. Gráfico Tensión-Deformación Axial promedio de miembros de la configuración 4 anillos 1 vuelta y 3 anillos 1 vueltas.

4.1.6. Configuración de 5 anillos, 1 vuelta.

Para esta configuración se obtuvieron resultado de resistencia de 214 kgf/cm^2 y de módulo de elasticidad de 131.400 kgf/cm^2.

La figura 4.7. muestra la gráfica de Tensión – Deformación de los miembros permite comparar la resistencia a compresión de los miembros confinados de 5 anillos 1 vuelta y 4 anillos 1 vuelta, en donde se aprecia una disminución de la resistencia de 5.27% y de módulo de elasticidad de 6,33%.

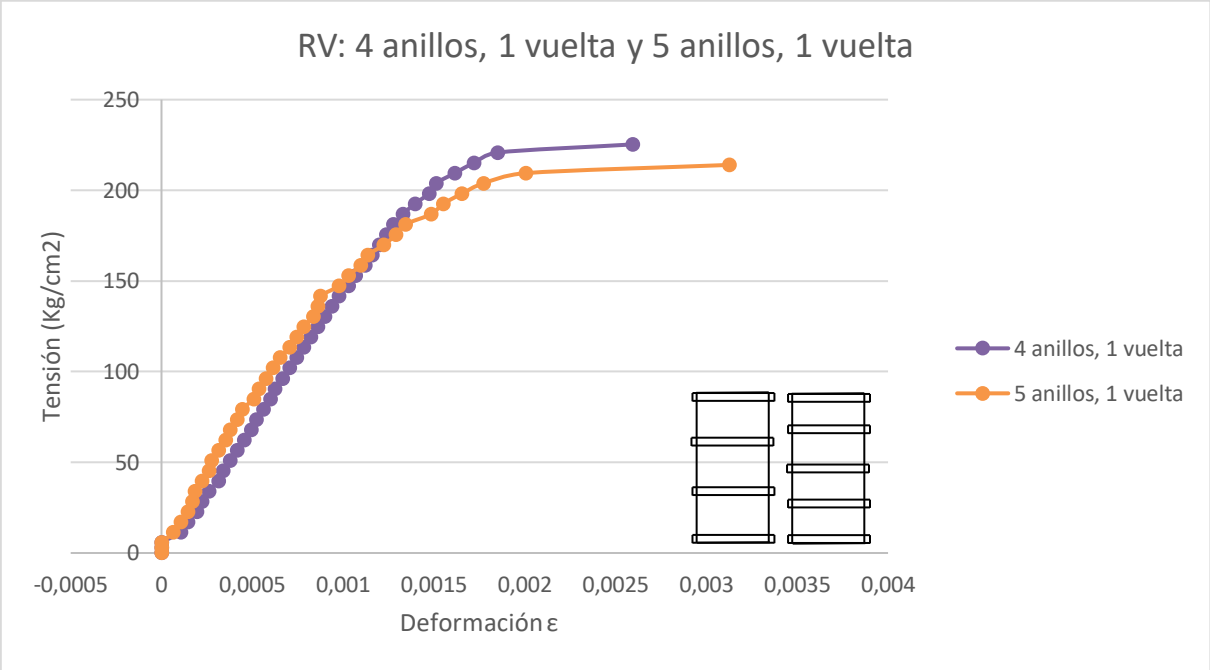


Figura 4.7. Gráfico Tensión-Deformación Axial promedio de miembros de la configuración 4 anillos 1 vuelta y 5 anillos 1 vuelta.

4.1.7. Configuración de 5 anillos, 2 vueltas.

Esta configuración obtuvo una resistencia de 224 kgf/cm^2 y un módulo de elasticidad de 116.700 kgf/cm^2 .

En la Figura 4.8. se aprecia la gráfica de Tensión – Deformación del configuración de 5 anillos 2 vueltas con 5 anillos 1 vueltas, en donde se evidencia un aumento de resistencia y una disminución del módulo de elasticidad de 4,81% y 12,58% con respecto a la configuración de 5 anillos 1 vuelta.

La Figura 4.9. la gráfica de Tensión – Deformación del configuración de 5 anillos 2 vueltas con 4 anillos 2 vueltas que generó una disminución de su capacidad de resistencia despreciable y de módulo de elasticidad 4,9% respectivamente correspondiente a la comparación con la configuración de 4 anillos 2 vueltas.

Se puede observar cómo las curvas de los miembros reforzados con anillos siguen una misma tendencia mediante la aplicación de la carga.

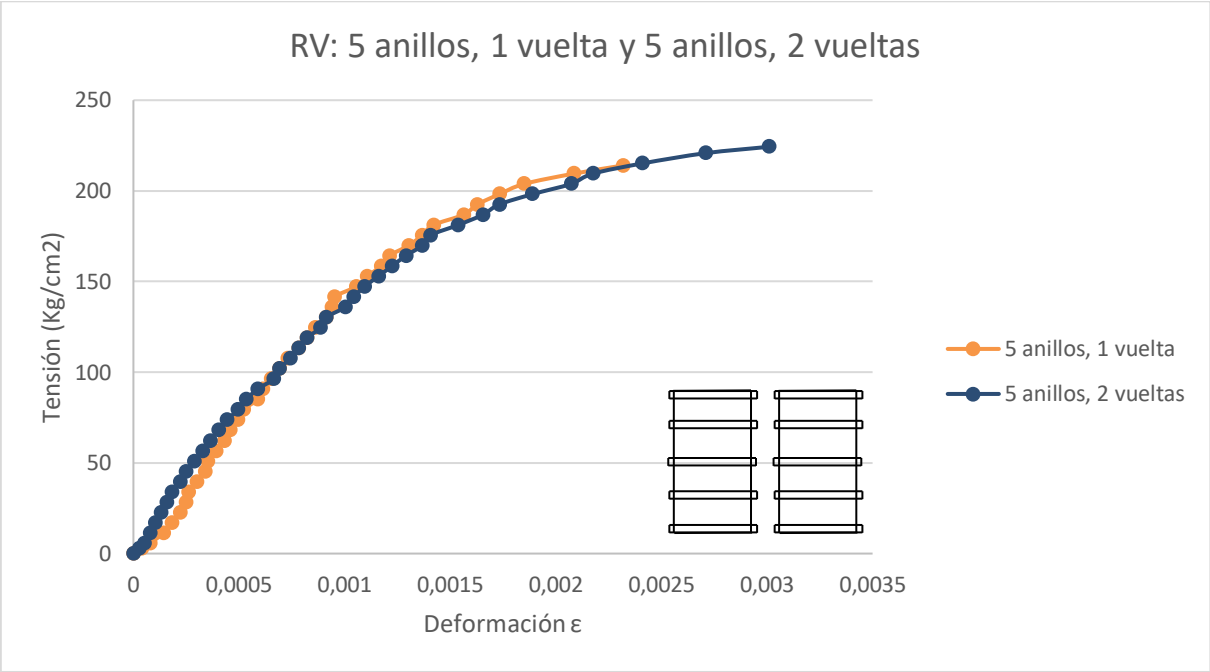


Figura 4.8. Gráfico Tensión-Deformación Axial promedio de miembros de la configuración 5 anillos 1 vuelta y 5 anillos 2 vueltas.

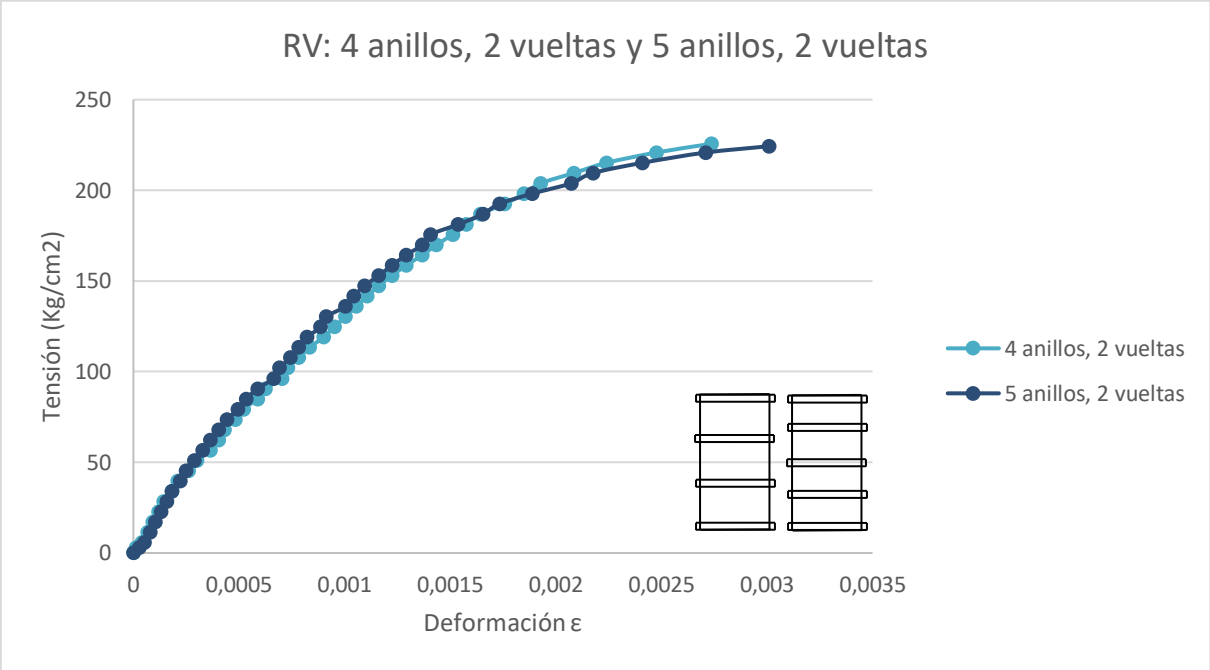


Figura 4.9. Gráfico Tensión-Deformación Axial promedio de miembros de la configuración 4 anillos 2 vueltas y 5 anillos 2 vueltas.

4.1.8. Relación Tensión/Tensión Máxima y relación Deformación/Deformación Máxima.

La figura 4.10. presenta los valores relativos de tensiones con base a la tensión máxima de cada familia, y las deformaciones relativas máximas.

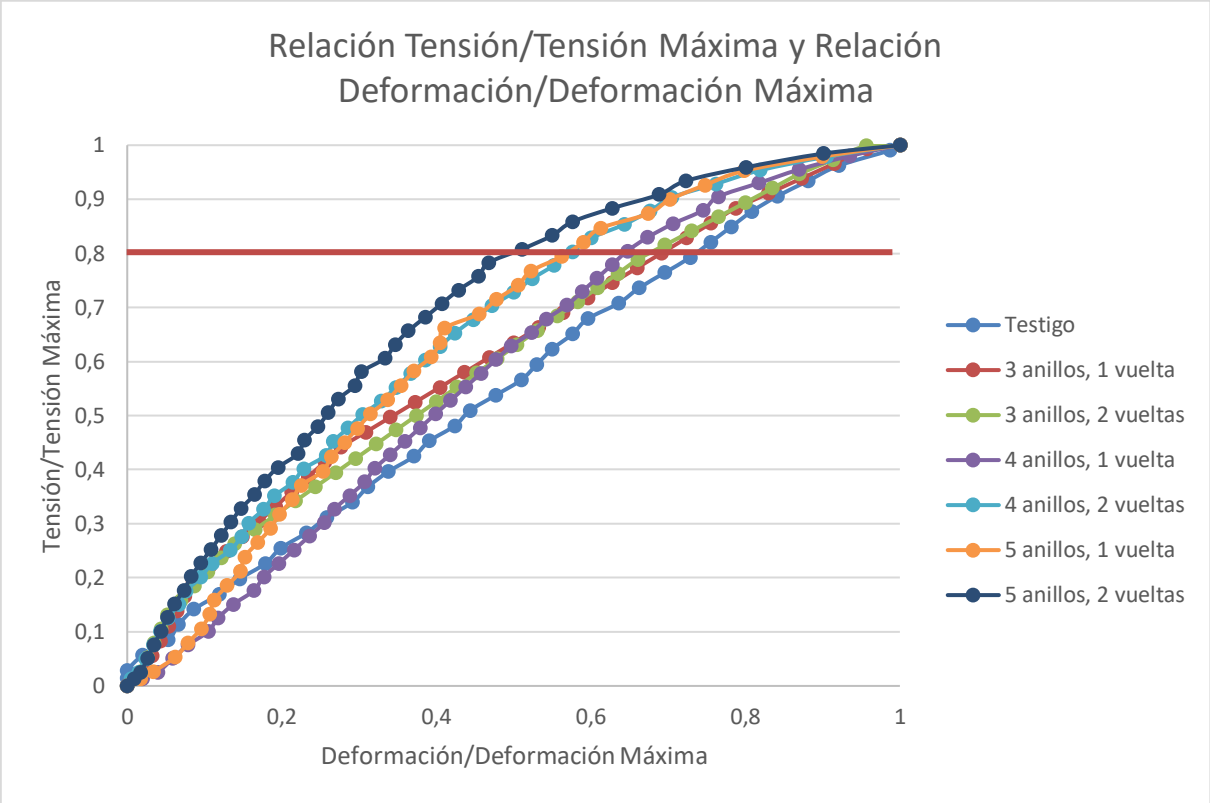


Figura 4.10. Gráfico relación Tensión/Tensión máxima y relación Deformación/Deformación máxima.

Se puede observar que los comportamientos por configuraciones son variables entre ellos. El módulo de elasticidad disminuye con la cantidad de vueltas en las configuraciones. Y, a medida de que el módulo de elasticidad disminuye, a menores cargas, mayores deformaciones verticales.

Tomando como referencia el 80% de tensión, se puede apreciar como las probetas reforzadas disminuyen el porcentaje de deformación respecto al patrón sin confinar, evidenciando la capacidad de la fibra de disminuir las deformaciones axiales. Las probetas testigos con respecto a la configuración de 5 anillos 2 vueltas, que fue el patrón con el mayor confinamiento, tuvo una disminución en su deformación axial del 30%.

4.2. Comportamiento Tensión – Deformación Transversal.

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

4.2.1. Configuración referencial (no confinada).

La figura 4.11. muestra el comportamiento medido en los miembros del configuración referencial, y se aprecia como al instante de iniciar la aplicación de tensiones se produce una deformación en el plano transversal, generada por el acortamiento de la probeta, hay un cambio en la pendiente inicial de la curva debida al reajuste de las partículas en las caras en contacto con la prensa. De igual manera, la deformación máxima no superó el 0,002 que representa la deformación máxima del concreto.

Una vez alcanzada la tensión máxima del miembro, las deformaciones incrementan en mayo magnitud, esto es debido al agrietamiento de la interface Mortero – Agregado de las probetas durante los ensayos, como se muestra en la Figura 4.18.

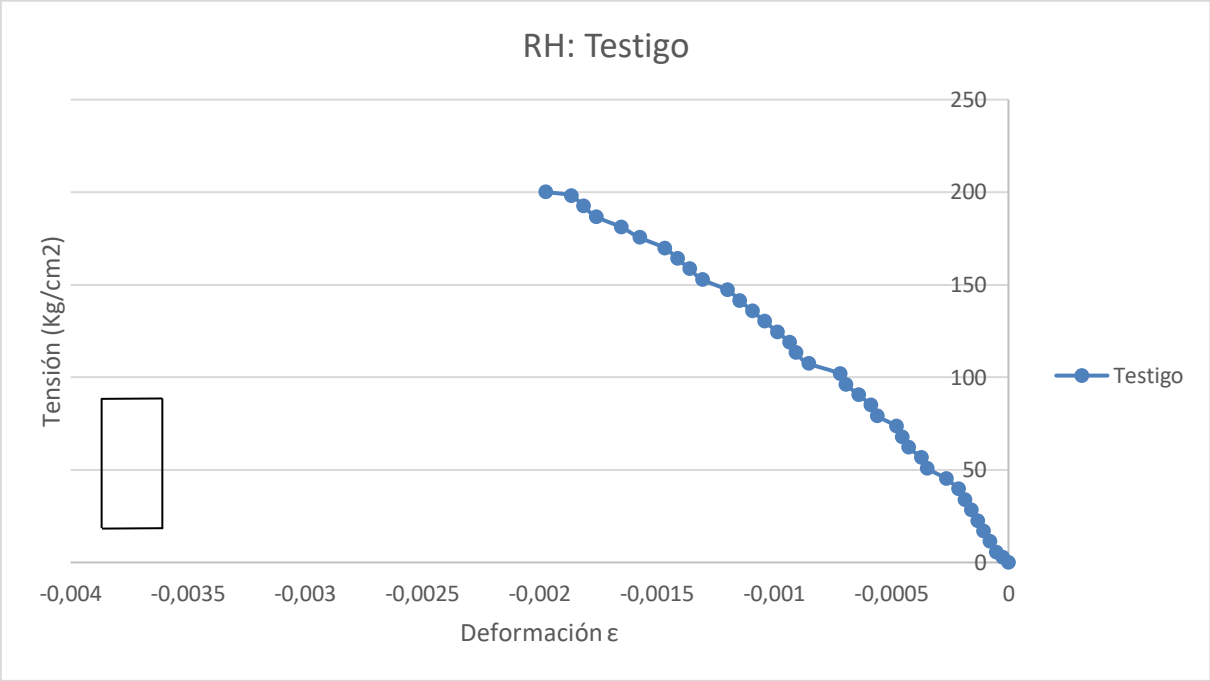


Figura 4.11. Gráfico Tensión-Deformación Transversal promedio de miembros de la configuración referencial.

4.2.2. Configuración de 3 anillos, 1 vuelta.

En la figura 4.12. se puede observar que los miembros de 3 anillos 1 vuelta tienen un comportamiento similar a los miembros sin confinar. Al momento de la realización del ensayo, la configuración de 3 anillos 1 vuelta, presenta mayores deformaciones con relación a la comparación anteriormente planteada, sin embargo, tiene un aumento en la capacidad de carga resistente al finalizar la prueba.

La comparación de estas dos configuraciones, dio como resultado un incremento en la deformación de 40,54% con respecto a los promedios de los testigos.

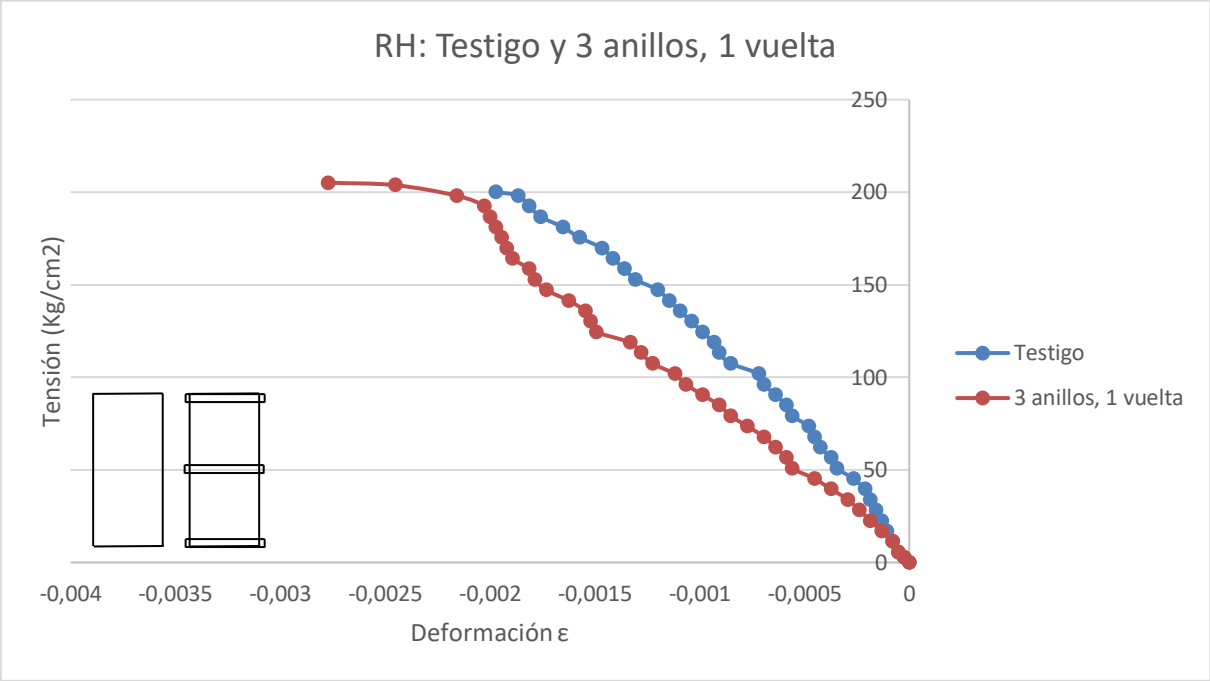


Figura 4.12. Gráfico Tensión -Deformación Transversal del miembro configuración referencial y 3 anillos 1 vuelta.

4.2.3. Configuración de 3 anillos, 2 vueltas.

Al observar la Figura 4.13. se evidencia menores deformaciones transversales con respecto a la configuración de 3 anillos 1 vuelta, con una disminución de 29,57%.

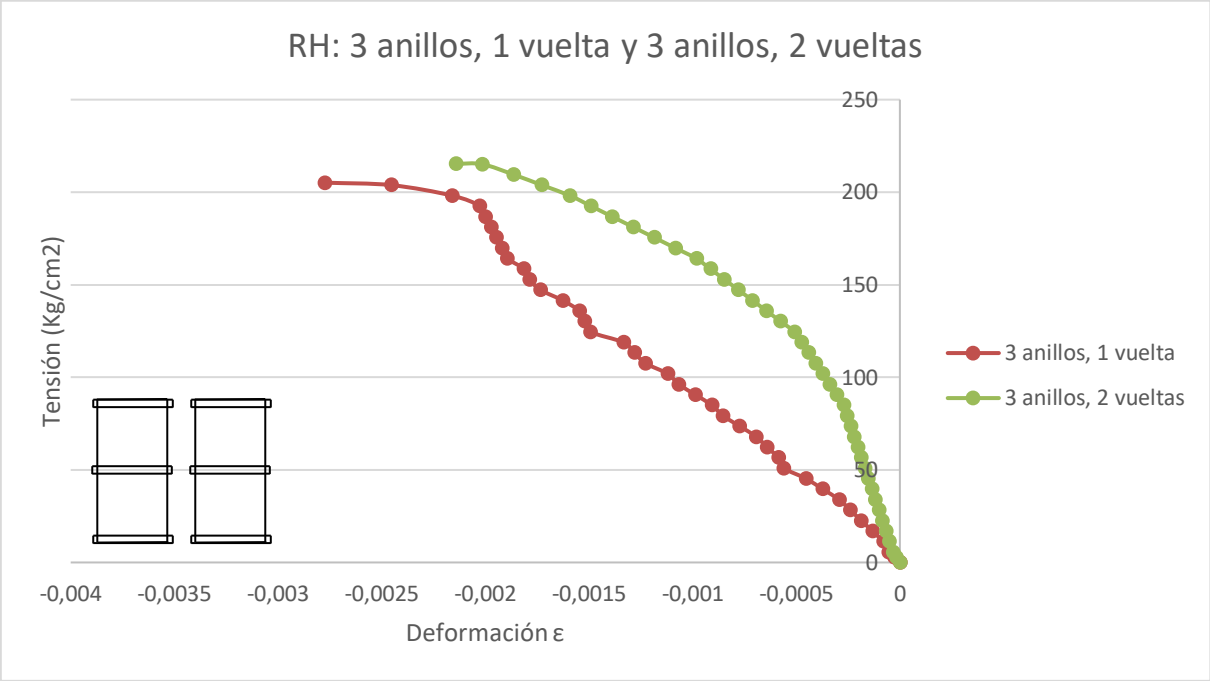


Figura 4.13. Gráfico Tensión - Deformación Transversal del miembro configuración 3 anillos 1 vuelta y 3 anillos 2 vueltas.

4.2.4. Configuración de 4 anillos, 1 vuelta.

En la Figura 4.14. se observa cómo las deformaciones transversales son más pequeñas en dicha configuración a comparación al de 3 anillos 1 vuelta, esto es debido al mayor confinamiento en el miembro, que facilita la transmisión de las tensiones a la matriz Fibra – Resina. Dando así una disminución de las deformaciones transversales para este caso de 139,44% que nos indica que la fibra de vidrio junto a la resina de poliéster confinó el miembro a medida que se le aplicaban las cargas monotónicas debido al incremento de este refuerzo.

Cabe volver a recalcar, que para estas medidas de deformaciones, se hicieron en la zona central de los miembros que no poseen refuerzo de fibra de vidrio.

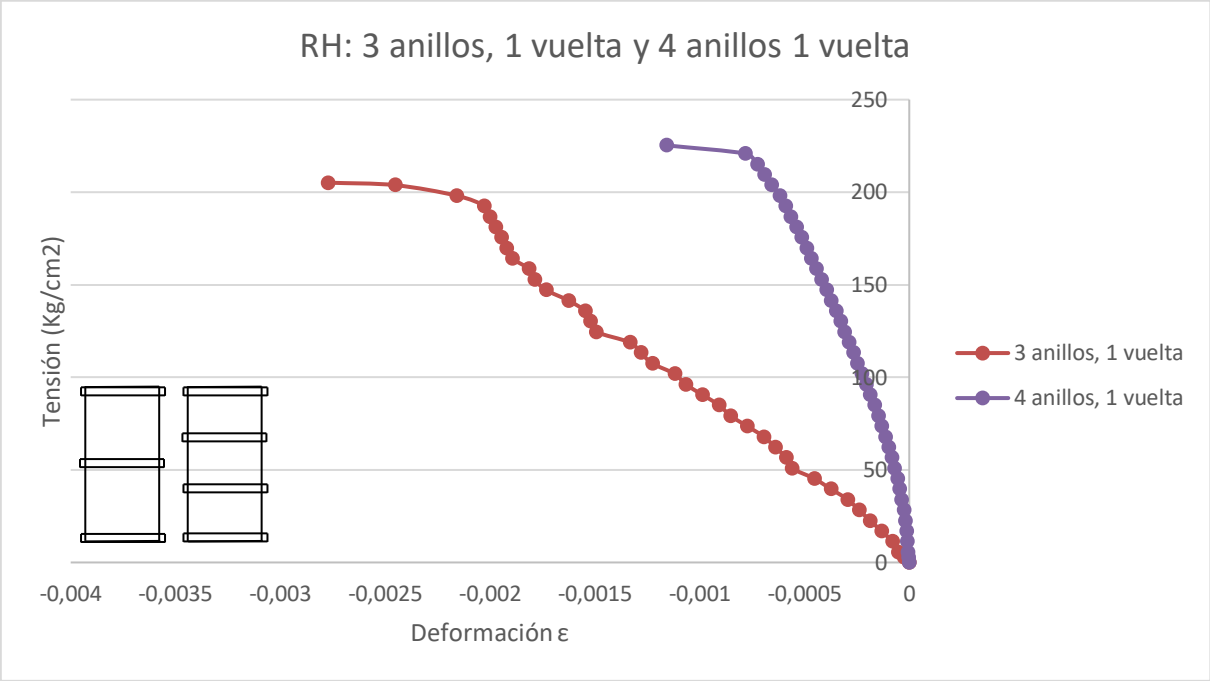


Figura 4.14. Gráfico Tensión -Deformación Transversal del miembro 3 anillos 1 vuelta y 4 anillos 1 vuelta.

4.2.5. Configuración de 4 anillos, 2 vueltas.

Como se muestra en la Figura 4.15. el comportamiento de este configuración con respecto al anterior, fueron muy similares. La configuración de 4 anillos 2 vueltas presentó menores deformaciones representando una disminución de deformación transversal de 100% con respecto a la configuración de 4 anillos 1 vuelta.

En la Figura 4.16. también se obtuvo una disminución de deformaciones transversales con respecto a la configuración de 3 anillos 2 vueltas de 269,59%.

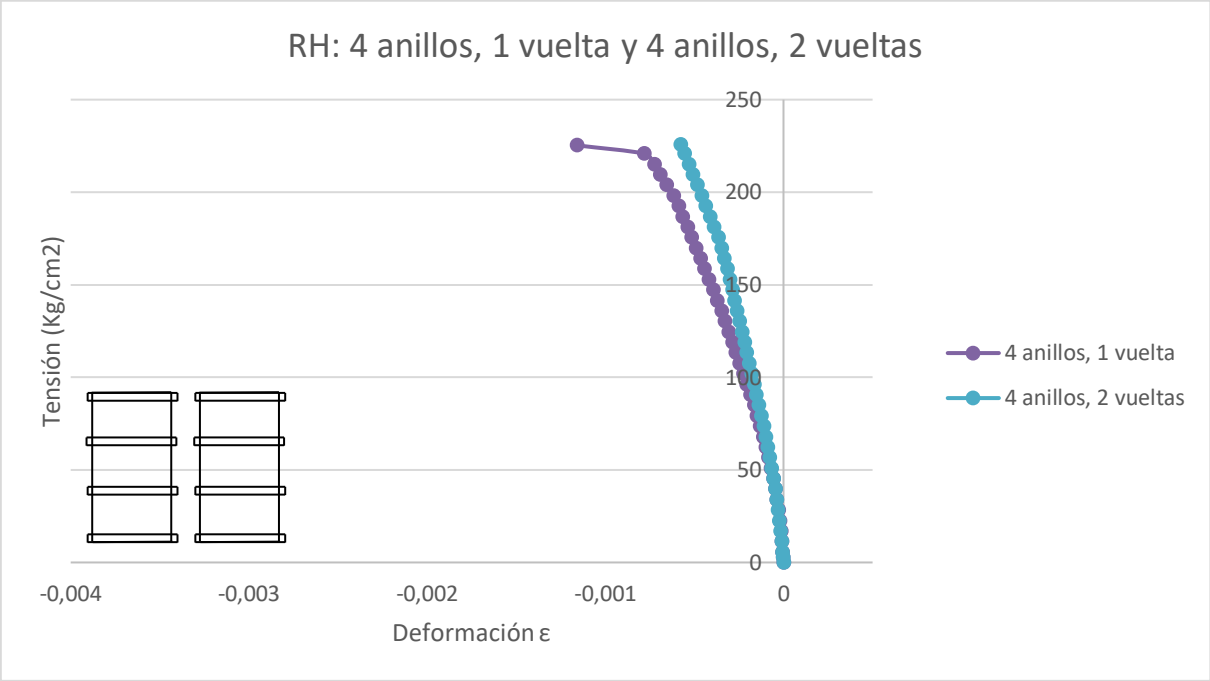


Figura 4.15. Gráfico Tensión -Deformación Transversal del miembro 4 anillos 1 vuelta y 4 anillos 2 vueltas.

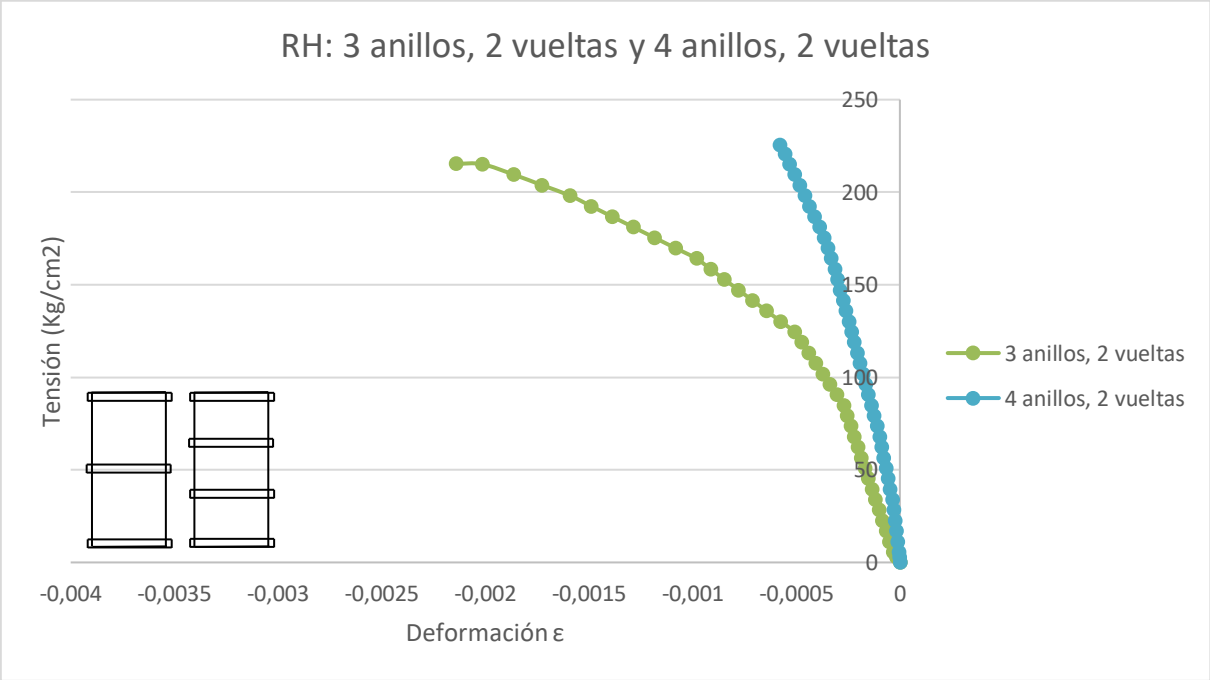


Figura 4.16. Gráfico Tensión -Deformación Transversal del miembro 4 anillos 1 vuelta y 4 anillos 2 vueltas.

4.2.6. Configuración de 5 anillos, 1 vuelta.

Para esta configuración, mediante la Figura 4.17. se puede evidenciar que a medida de que se iba aplicando la carga monotónica, se presentaban pequeñas deformaciones en el sentido transversal, hasta que el miembro llega a la falla.

En comparación a la configuración de 4 anillos 1 vuelta, esta sólo presenta menores deformaciones transversales al momento del ensayo generando una disminución de deformación de 153,33% con respecto a la configuración de 4 anillos 1 vuelta.

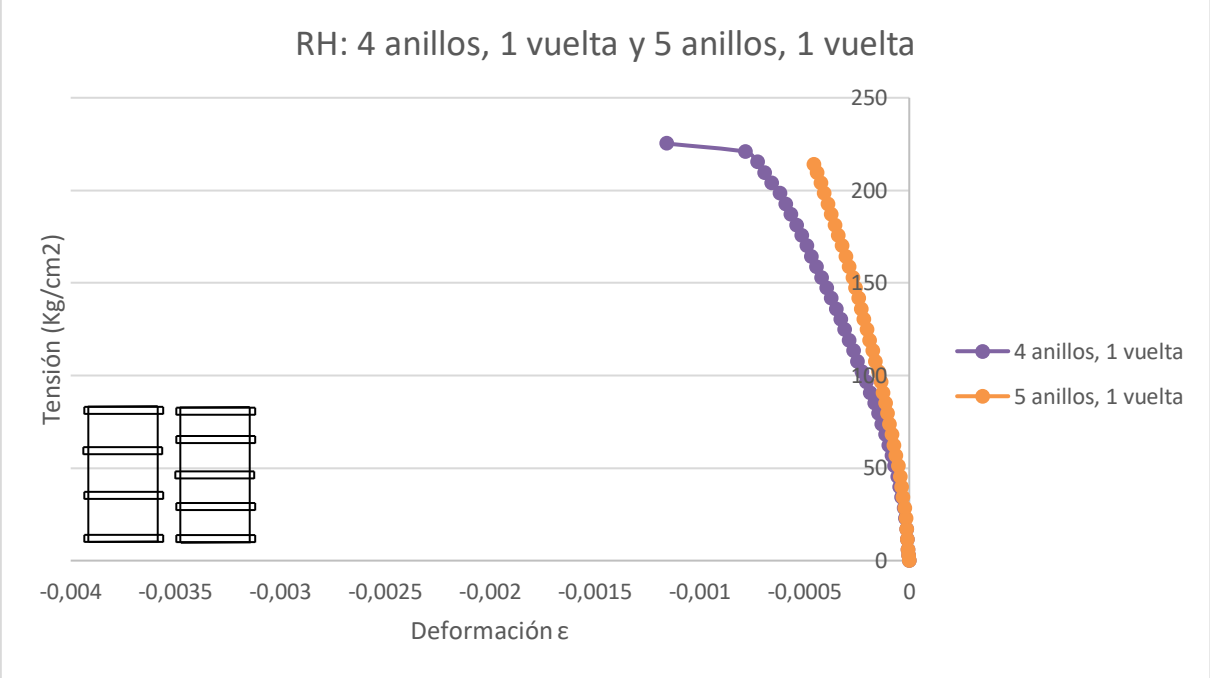


Figura 4.17. Gráfico Tensión -Deformación Transversal del miembro 4 anillos 1 vuelta y 5 anillos 1 vuelta.

4.2.7. Configuración de 5 anillos, 2 vueltas.

Esta configuración representa la mayor cantidad de área confinada dentro de las muestras. En la Figura 4.18. y 4.19. se observa cómo cuando se incrementa las tensiones, no hay presencia de deformación transversal pronunciada.

Esta configuración obtuvo un aumento de deformación transversal de 11,85% con respecto a la configuración de 5 anillos 1 vuelta y, una disminución de 13,24% con respecto a 4 anillos 2 vueltas.

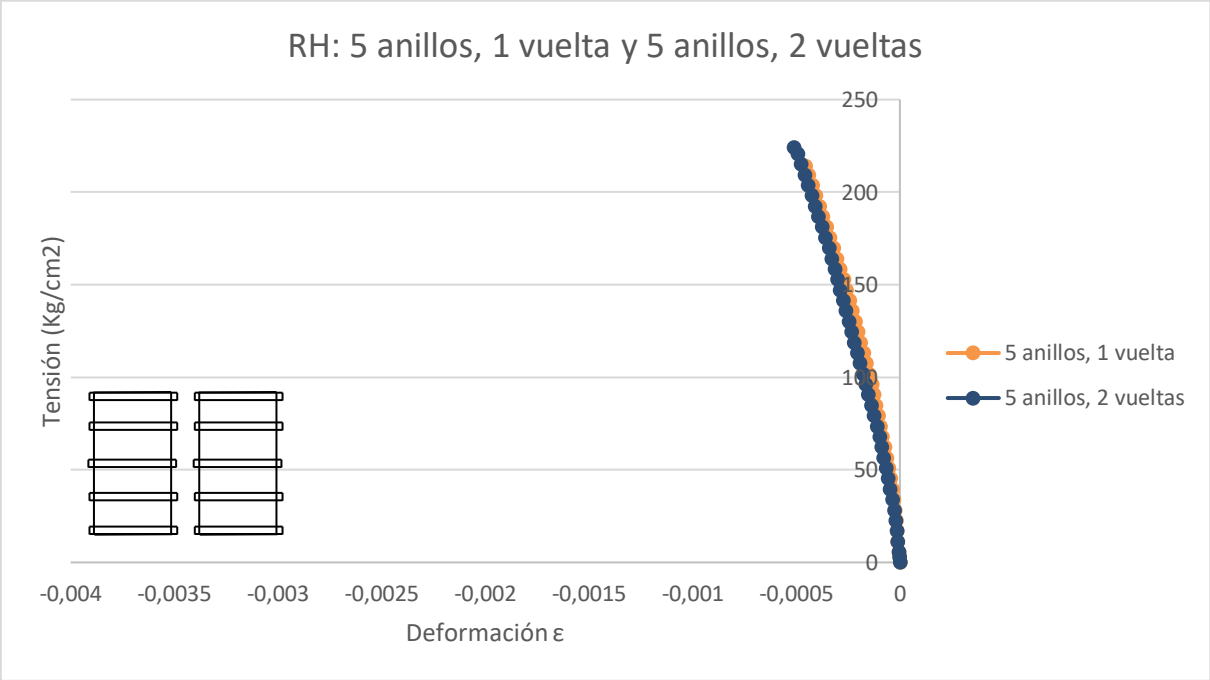


Figura 4.18. Gráfico Tensión -Deformación Transversal del miembro 5 anillos 1 vueltas y 5 anillos 2 vueltas.

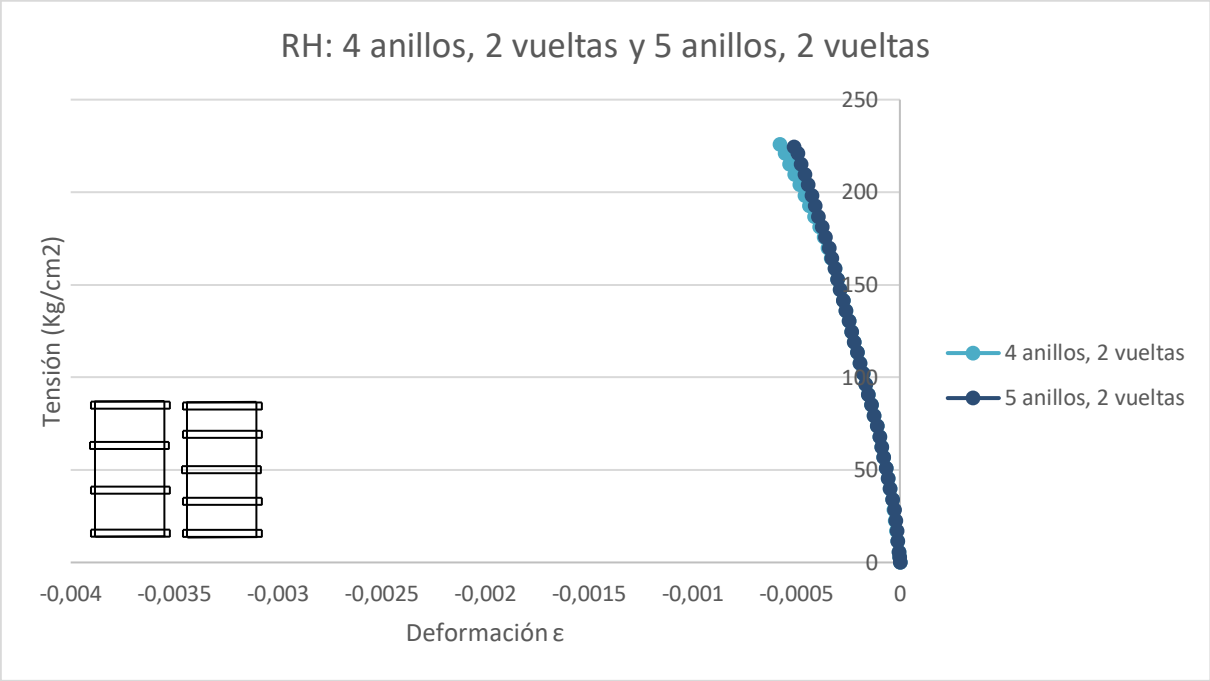


Figura 4.19. Gráfico Tensión -Deformación Transversal del miembro 4 anillos 2 vueltas y 5 anillos 2 vueltas.

4.3. Tabla resumen.

A continuación se presenta una tabla resumen con los resultados obtenidos de resistencia, módulo de elasticidad y deformaciones transversales medidas con el reloj horizontal:

	Resistencia (KgF/cm2)	Módulo de Elasticidad (KgF/cm2)	Deformación Transversal (mm)
Testigo	200	111718	0,00197
3 anillos, 1 vuelta	205	193839	0,00277
3 anillos, 2 vueltas	215	165321	0,00214
4 anillos, 1 vuelta	225	139767	0,00116
4 anillos, 2 vueltas	226	122473	0,00058
5 anillos, 1 vuelta	214	131437	0,00046
5 anillos, 2 vueltas	224	116750	0,00051

Tabla 4.1. Tabla resumen.

CAPÍTULO IV
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

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

Al confinar la los miembros de concreto con tres (3) anillos de fibra de vidrio de dos (2) pulgadas fue alcanzado un incremento de 2,52% en su resistencia y de módulo de elasticidad de 42,37% con respecto al miembro testigo. De igual manera, las deformaciones transversales también obtuvieron un incremento de 40,54% a la carga última, lo cual permite concluir que con este tipo de refuerzo se tuvo mayor aporte en el módulo de elasticidad y deformación horizontal a comparación al miembro no confinado.

Para el caso de confinamiento de los miembros de concreto de cuatro (4) anillos de fibra de vidrio fue alcanzado un incremento de 9,82% en su resistencia y una disminución de módulo de elasticidad de 38,69% con respecto a la configuración con tres (3) anillos de fibra de vidrio. Igualmente, las deformaciones transversales también obtuvieron una disminución de 139,44% a la carga última, representando tensiones mayores respecto a la configuración de tres (3) anillos. Para la comparación anteriormente mencionada, se evidencia el aporte de la fibra de vidrio adherida y la influencia que esta tiene sobre el comportamiento mecánico. Es importante resaltar que la zona en donde se espera el agrietamiento, no se encontraba confinada.

Para el confinamiento de los cilindros de cinco (5) anillos de fibra de vidrio resultó en un disminución de 5,27% en su resistencia y de módulo de elasticidad de

elasticidad de 6,33% con respecto a la configuración con cuatro (4) anillos de fibra de vidrio. Se obtuvo una disminución de su deformación en un 153,33%.

De igual manera, se evidenció que al aumentar la cantidad de vueltas de los anillos, se incrementa la resistencia de los miembros. Pero, a medida de que se le iba incrementando el confinamiento a las probetas, poseían menores deformaciones transversales.

Esto implicaría que a mayor confinamiento de fibra de vidrio en los cilindros de concreto genera un mayor aporte en su resistencia y en sus deformaciones axiales, pero limita las deformaciones transversales. Sin embargo, al liberar la zona central del anillo, permite que la falla sea más tardía trayendo como consecuencia que los cilindros de 4 anillos sean los que soporten la mayor carga resistente.

En la Figura 5.1. se presenta un gráfico que muestra las resistencias y el porcentaje de resistencias obtenidas con los diferentes configuraciones ensayados partiendo del concreto de resistencias 200 kgf/cm².

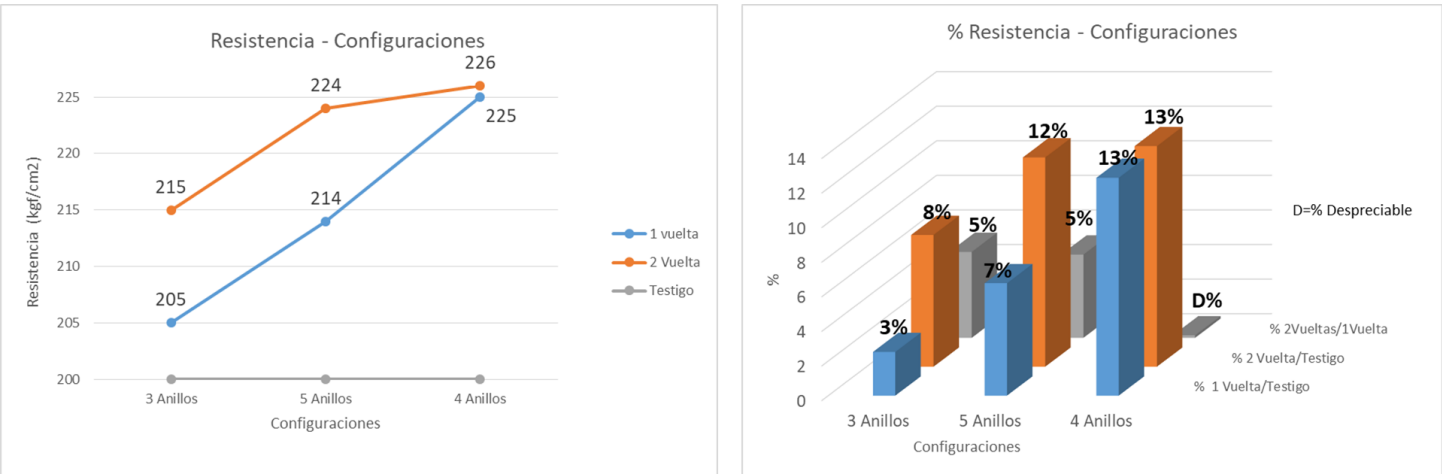
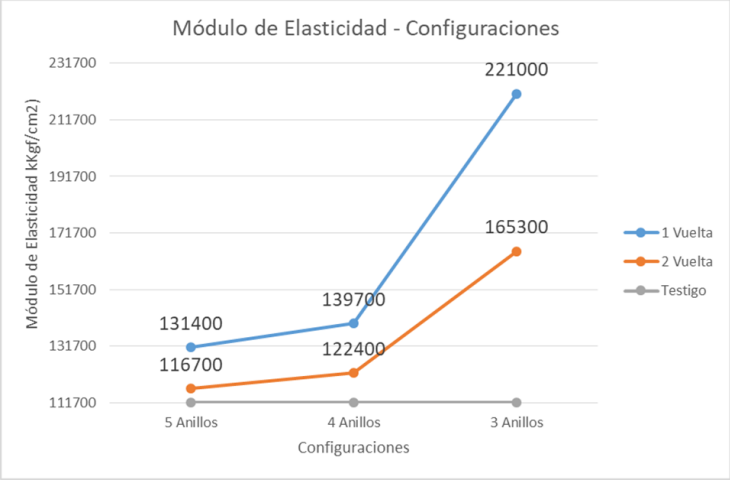


Figura 5.1. Gráfico Resistencia – Configuración de anillos.

De igual manera, en la Figura 5.2. se presenta un gráfico que muestra los módulos de elasticidad y el porcentaje de módulos de elasticidad obtenidas con los diferentes configuraciones ensayados partiendo del concreto de resistencias 200kgf/cm².



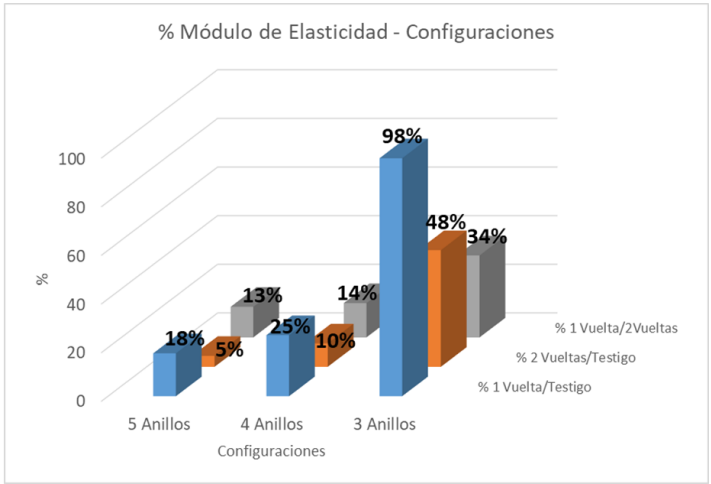
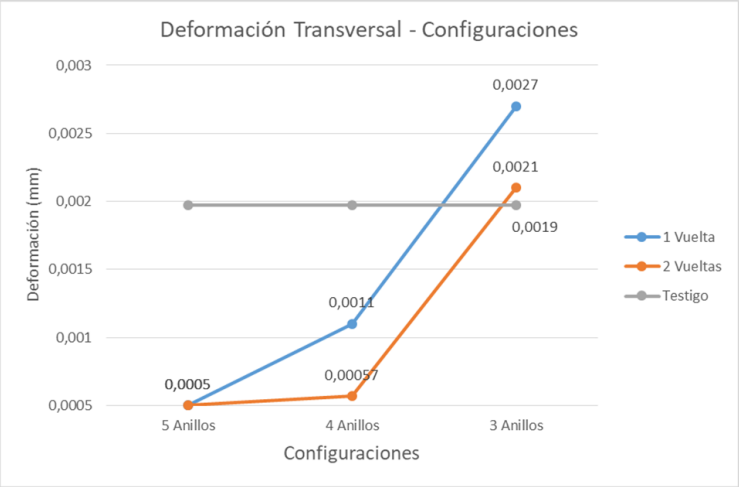


Figura 5.2. Gráfico Módulo de Elasticidad – Configuración de anillos.

De igual manera, en la Figura 5.3. muestra el gráfico las deformaciones transversales y porcentajes de deformaciones transversales obtenidas en las diferentes configuraciones.



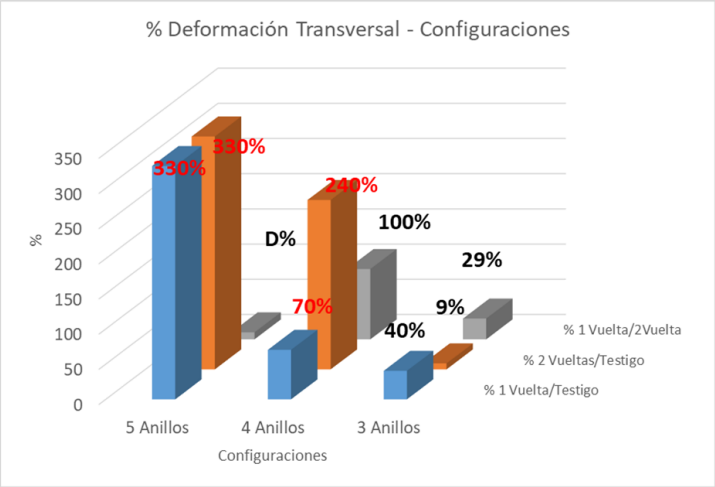


Figura 5.3. Gráfico Deformaciones Transversales – Configuración de anillos.

En la Figura 3.1., mostrada anteriormente en el Marco Metodológico, representa la gráfica Tensión Axial vs. Deformación de la matriz Fibra de Vidrio – Resina de Poliéster, en donde se evidencia que este refuerzo no produce gran aporte en la resistencia a la tracción del concreto como es otro método de refuerzo como el acero, sin embrago, contribuye a aumentar la capacidad resistente del concreto y a limitar las deformaciones transversales. En la gráfica anteriormente mencionada, muestra la tensión a tracción obtenida mediante ensayos de 864 kgf/cm² y un módulo de elasticidad de 318.000 kgf/cm².

5.2. Recomendaciones.

Como continuación de la línea de investigación, se recomienda realizar estudios a miembros confinados en su totalidad, aumentar el número de vueltas que se le da para formar el anillo de fibra de vidrio, y a diferentes configuraciones de áreas de confinamiento.

De igual manera, se aconseja efectuar investigaciones en miembros que posean diferentes geometrías como en prismas de concreto.

Este trabajo se realizó con base a resistencia de 200 kgf/cm² para reducir variables, por ello se recomienda profundizar en el estudio variando las resistencias a modo de poder usar una curva que no dependa exclusivamente de una resistencia base.

Se recomienda utilizar instrumentos de medición digitales como los potenciómetros.

Realizar estudios en miembros corto de concreto estructural con fibra de vidrio utilizando adhesivo epoxi, y profundizar la investigación de los efectos de la resina de poliéster en miembros corto de concreto estructural.

Ampliar la investigación utilizando la fibra de vidrio y la resina de poliéster en elementos sometidos a flexión.

BIBLIOGRAFÍA

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

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

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

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, 53 páginas. 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, 2017, 58 páginas. Tesis de grado (Ingeniería Civil). Universidad Católica Andrés Bello. Facultad de Ingeniería.