

4-2018

Longitud de desarrollo y adherencia para acero de refuerzo en elementos SFRC

Aliz Estefanía Castiblanco Muñoz
Universidad de La Salle, Bogotá

Diana Marcela Vargas Mesa
Universidad de La Salle, Bogotá

Follow this and additional works at: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil



Part of the [Civil Engineering Commons](#)

Citación recomendada

Castiblanco Muñoz, A. E., & Vargas Mesa, D. M. (2018). Longitud de desarrollo y adherencia para acero de refuerzo en elementos SFRC. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/337

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Civil by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.



Longitud de Desarrollo y Adherencia Para Acero de
Refuerzo en Elementos SFRC

Aliz Estefanía Castiblanco Muñoz

Diana Marcela Vargas Mesa

Universidad de La Salle
Facultad de Ingeniería, Área Curricular de Ingeniería Civil
Bogotá, Colombia
2018

Longitud de Desarrollo y Adherencia Para Acero de Refuerzo en Elementos SFRC

Aliz Estefanía Castiblanco Muñoz

Diana Marcela Vargas Mesa

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Civil

Director:
IC-MIC María Alejandra Caicedo Londoño

Línea de Investigación:
Estructuras y Construcción

Grupo de Investigación:
ESMAV – Semillero de investigación en estructuras, materiales y vivienda

Universidad de La Salle
Facultad de Ingeniería, Área Curricular de Ingeniería Civil
Bogotá, Colombia
2018

Dedicatorias

Este proyecto de grado se lo dedico primero a Dios, porque siempre ha estado a mi lado ayudándome en los momentos de dudas y brindándome su luz en los momentos de oscuridad.

A mi madre Lina Maria Castiblanco Muñoz, quien a lo largo de mi vida ha sido más que una madre, mi mejor amiga y compañera, con quien siempre cuento, que cree en mí y ha depositado su confianza en cada reto de mi vida, por su paciencia, por su fuerza, por su amor, por ser una mujer de grandes valores, porque la amo y es mi motor de vida. Nunca podré estar lo suficientemente agradecida.

A mi hermano Jonathan Ignacio Acosta Castiblanco quien me ha enseñado a no desistir de alcanzar las metas, quien está orgulloso de mi por lo que soy, acompañándome, dándome apoyo cuando más lo he necesitado y sobre todo por el amor que me brinda siempre.

A mi novio Andrés Javier Murillo Novoa, por su apoyo en este camino tan difícil, por el amor y paciencia incondicional que me ha dado desde el comienzo.

A mi compañera de estudio y de tesis Diana Marcela Vargas Mesa, por su compañía y apoyo desde el principio de la carrera y doy gracias a Dios por ponerla en mi camino, poderla conocer, compartir hermosos momentos y tener el placer de hacer este proyecto de grado al lado de ella.

A todos ellos mil gracias, los amo con todo mi corazón.

Aliz Estefanía Castiblanco Muñoz

Este proyecto de grado está dedicado en primer lugar a Dios que ha sido mi guía y mi fuerza en esta etapa de mi camino, él me ha levantado en los momentos de dificultad, me ha iluminado con el don del entendimiento necesario para superar cada una de las pruebas que se me han presentado y me puso en el camino a las mejores personas que pude haber deseado conocer.

A mis padres José Guillermo Vargas Gaitán y María Aurora Mesa Caro, por todos sus esfuerzos para sacar adelante mi carrera profesional, ellos han sido mi soporte incondicional y quienes me ha dado un gran ejemplo de la persona en que debo convertirme, apoyándome e impulsándome siempre para llegar a ser una excelente profesional y dándome fortaleza en los momentos de dificultad.

A mi hermano Cristian Camilo Vargas Mesa quien me ha demostrado con su ejemplo a no desistir en las metas que me he propuesto y siempre luchar por mis sueños.

A mi compañera de tesis Aliz Estefanía Castiblanco Muñoz quien me ha acompañado y alentado a seguir adelante desde el inicio de mi carrera, enseñándome lo que significa una verdadera amistad.

Diana Marcela Vargas Mesa

Agradecimientos

Primero queremos agradecerle de corazón a nuestra directora de tesis ingeniera María Alejandra Caicedo Londoño por su esfuerzo y dedicación, quien nos apoyó y encaminó en el proceso de la presente investigación, ganando nuestra sincera admiración, nos sentimos en deuda con ella por sus conocimientos transmitidos durante el tiempo que ha durado esta investigación de grado, esperamos compensarla con un excelente trabajo y desarrollo profesional.

Queremos expresar nuestro reconocimiento y gratitud al ingeniero Fabián Augusto Lamus Báez, quien nos brindó todo su conocimiento, paciencia y tiempo durante todo el desarrollo de este proyecto de grado.

Gracias a los laboratoristas Camilo Gómez Martínez y Luis Eduardo Borja Vargas, quienes nos brindaron toda su colaboración en el proceso de desarrollo de las pruebas al material (vigas), compartiendo un ambiente de compañerismo y profesionalismo.

Gratitud a todos nuestros profesores que tuvimos durante nuestra carrera de Ingeniería Civil por habernos transmitido sus conocimientos y experiencias.

A nuestros compañeros Pedro Farieta, Steven Ángel, Luis Pacheco y Andrés Murillo quienes nos apoyaron y ayudaron en la realización de esta tesis, para nosotras son los mejores compañeros que pudimos haber tenido, sus motivaciones y optimismo nos ayudaron en los momentos difíciles de este trabajo de grado.

Agradecemos a la empresa PROALCO BEKAERT por habernos brindado la materia prima (fibras de acero) utilizada en la realización de nuestra tesis, de manera desinteresada.

Resumen

El propósito de este trabajo de tesis consistió en desarrollar una investigación con pruebas de laboratorio sobre de la cantidad en porcentaje de fibras cortas de acero necesarias para disminuir la longitud de desarrollo, sin que ésta se viera afectada cuando se sometió a esfuerzos de flexión. Las dimensiones de la viga mostrada en la figura 1, son: 2,12 m de longitud, 0,25 m de altura y 0,10 m de ancho.

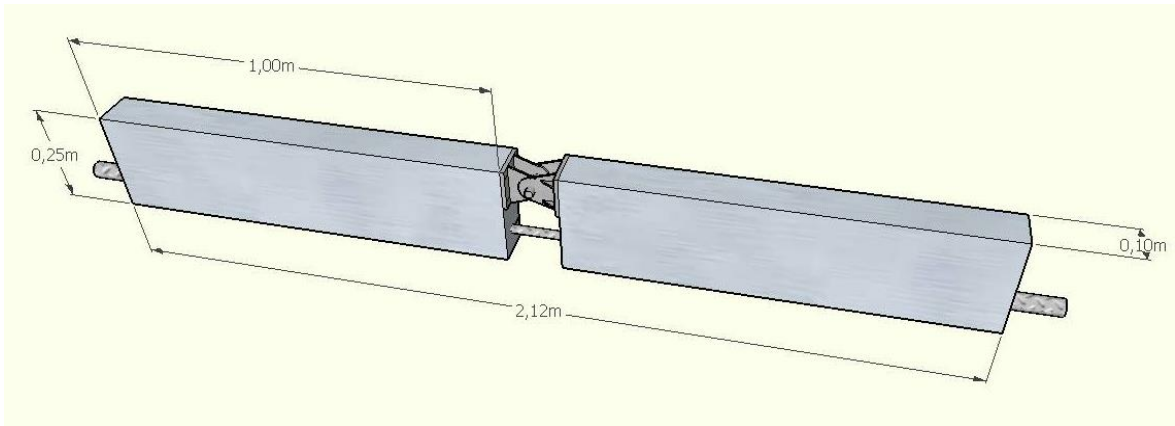


Figura 1. Dimensiones de la probeta experimental

Fuente de los autores.

Se realizaron 36 tipos de vigas, combinando 3 longitudes de desarrollo: 0.25, 0.5, y 0.75 con 4 porcentajes de fibra: 0, 1.0, 1.5 y 2.0, tres probetas por cada configuración. El elemento estaba dividido en dos partes, unido por medio de una articulación en la mitad, tal como se muestra en la figura, esto para que el esfuerzo de flexión sólo afectara el acero longitudinal y el concreto de la parte inferior del espécimen; la correcta ubicación de esta articulación se realizó por medio de pernos ubicados sobre la barra longitudinal al momento de fundirla, teniendo en cuenta que la formaleta se diseñó con sus respectivas perforaciones para la barra y pernos.

Además de la barra longitudinal central que sirvió como refuerzo principal, la viga contaba con dos barras más, ubicadas en los extremos superiores de esta y como acero transversal se dispuso de 20 estribos, ubicados a lo largo del espécimen.

Se tomaron lecturas de las deformaciones unitarias a cuatro de las 36 vigas, las cuales contaban con la menor longitud de desarrollo (25%) ya que estas presentaban el caso más crítico en cuanto a desplazamientos. Esto se realizó por medio del uso de Strain Gages ubicados en la barra central del acero, por medio del software StrainSF, el cual permite calcular las deformaciones unitarias en tiempo real.

Para cada una de las vigas, se midieron los desplazamientos con los deformímetros ubicados en los extremos de la barra de la viga y bajo el pistón que aplico la carga.

Además, se presentan los resultados gráficos de los tipos de fallas que se evidenciaron; las cargas máximas de cada viga las cuales fueron de 4,5 MPa que corresponde a la viga (espécimen 2, configuración: 25% de la longitud de desarrollo y 2.0% de fibras de acero), el momento máximo fue 67,5 N*cm y lo obtuvo la viga C2.0-2 (espécimen 2, configuración: 75% de la longitud de desarrollo y 2.0% de fibras de acero), la cual poseía la mayor longitud de desarrollo e igualmente la mayor proporción de fibras.

Palabras Claves:

Longitud de desarrollo, fibras de acero, flexión y Strain Gages

Abstract

The purpose of the thesis was to develop an investigation about the amount in percentage of steel fibers with which the development length could be reduced, without this being affected, when subjected to bending stresses; all in a beam of 2.12 m in length, 0.25 m in height and 0.10 m in width as shown in figure 1.

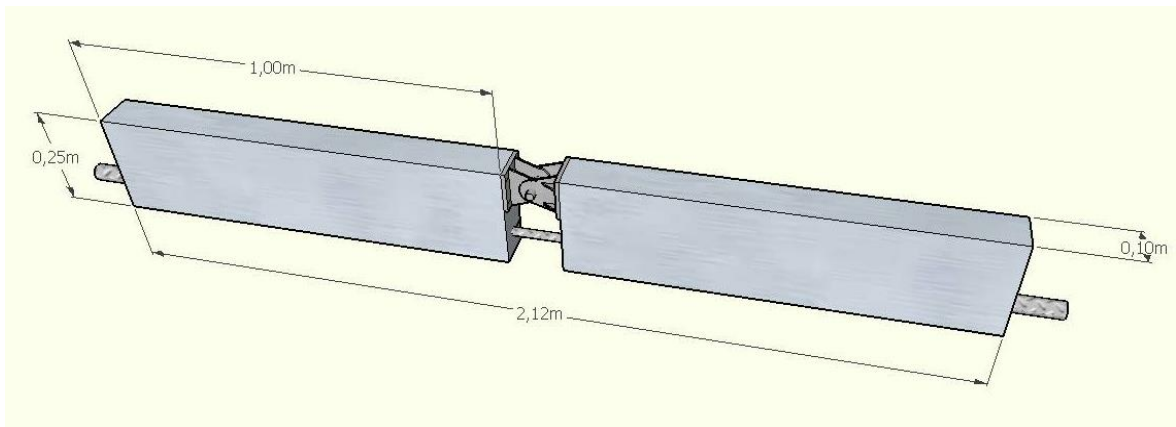


Figure 1 *Beam proportions.*

Own source.

36 types of beams were made, combining 3 development lengths: 0.25, 0.5, and 0.75 with 4 percentages of fiber: 0, 1.0, 1.5 and 2.0, three beams for each configuration. The beam was divided in two, through a joint in the middle, as shown in the figure, this so that the bending stress only affected the longitudinal steel and the concrete of the lower part of the beam; The correct location of this joint in the beams was made by means of bolts located on the longitudinal bar when melting the beam taking into account that the form was designed with its respective holes for the bar and bolts. In addition to the central longitudinal bar that served as the main reinforcement, the beam had two more bars, located at the upper ends of the beam and as transversal steel was available 20 stirrups, located along the beam.

Four from 36 beams unitary deformations were measured, these had the shortest development length (25%) since they presented the most critical case in terms of displacement, this was done through the use of Strain Gages located in the steel central bar, this using the StrainSF software, which allows to calculate the unit deformations in real time.

For each of the beams, the displacements were measured with the deformed located at the ends of the bar, the beam and under the piston that applied the load, this procedure is more detailed in the methodology.

In addition, as an extra point the graphic results of the types of failures that were presented were shown; the maximum loads and moments of each beam which were 4.5 MPa corresponding to the beam A2.0-2 with the shortest development length and highest proportion of fiber and 67.5 N * cm corresponding to beam C2 .0-2 which had the highest development length and also the highest proportion of fibers.

Key Words:

Development length, steel fibers, bending and Strain Gages.

Tabla de Contenido

Resumen.....	7
Abstract	9
Introducción	20
1. Problema	22
1.1 Línea	22
1.2 Titulo.....	22
1.3 Descripción del Problema.....	22
1.4 Formulación del Problema.....	22
1.5 Justificación	22
1.6 Objetivos	25
Objetivo General.....	25
Objetivos Específicos.	25
2. Antecedentes	26
3. Marco Referencial.....	41
3.1 Marco Conceptual.....	41
3.1.1 Adherencia	41
3.1.2 Acero de refuerzo.....	41
3.1.3 Fibras de acero	42
3.1.4 Longitud de desarrollo	42
3.1.5 Comportamiento a flexión	44
3.1.6 Concreto reforzado con fibras de acero (SFRC).....	44
3.2 Marco Legal.....	45
4. Metodología	47
4.1 Descripción de los Elementos.....	47

4.2	Descripción de Materiales	49
4.2.1	Cemento.....	50
4.2.2	Agregados.....	50
4.2.3	Madera	50
4.2.4	Aceros	51
4.2.5	Tubería de PVC	52
4.2.6	Fibras de acero	52
4.2.7	Diseño de mezcla	52
5.	Proceso constructivo.....	54
6.	Ensayos de laboratorio.....	62
6.1	Ensayo de la resistencia especificada a la compresión	62
6.2	Montaje del Ensayo (resistencia especificada a la compresión y tracción).....	62
6.3	Ensayo de la resistencia a flexión.....	63
6.4	Montaje del Ensayo (resistencia a flexión).....	64
6.5	Adquisición de datos.....	67
7.	Resultados.....	72
7.1	Resistencia especificada a la compresión	72
7.2	Resistencia a la tracción.....	74
7.3	Nomenclatura de los especímenes.....	75
7.4	Falla a flexión	75
7.5	Fallas típicas de las vigas.....	82
8.	Análisis de Resultados	84
8.1	Módulo de elasticidad de los cilindros.....	84
8.2	Carga máxima.....	85
8.3	Momentos máximos.....	87

8.4 Modulo de elasticidad de las vigas.	89
8.5 Comportamiento de los especímenes durante la falla.....	92
8.6 Deformaciones obtenidas con el programa GALGA utilizando los strain gages ..	94
9. Conclusiones	95
10. Recomendaciones y Trabajo Futuro	96
11. Bibliografía	97
Anexos	99

Lista de Tablas

Tabla1	
Ecuaciones de resistencia a compresión, deformación y volumen de fibras	37
Tabla2	
Porcentaje de fibras con sus respectivas longitudes de desarrollo.	48
Tabla3	
Peso seco y volumen absoluto de los materiales constituyentes por metro cubico de concreto de resistencia de 28 MPa ó 4000 psi.....	53
Tabla4	
Peso seco y volumen de los materiales constituyentes para las bachadas.....	53
Tabla5	
Resistencia especificada a la compresión.	72
Tabla6	
Nomenclaturas de las vigas.	75
Tabla7	
Resultados de la viga A0.0-2.....	77
Tabla8	
Abreviatura de la viga B1.5-1.....	78
Tabla 9	
Resultados de la viga C2.0-3.....	80
Tabla10	
Promedio de las distancias desde la articulación hasta la ruptura.	83
Tabla11	
Cargas máximas para cada viga valores en MPa-Toneladas carga digital.	85
Tabla12	
Cargas máximas para cada viga valores en MPa-Toneladas carga análoga.....	86
Tabla13	
Aumento de carga proporcional al aumento de fibras de acero.	87
Tabla 145	
Vigas con sus distancias de fisuras unidades en cm.....	94

Tabla 158	
Clasificación general del agregado según su tamaño.	106
Tabla 2116	
Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto.	110
Tabla17	
Cantidad de vigas y cilindro por bachada.....	112
Tabla18	
Volumen de bachadas (vigas).....	113
Tabla19	
Volúmenes de los cilindros.	113
Tabla20	
Peso de fibras para cilindros.....	114
Tabla21	
Peso de fibras para vigas.	114
Tabla22	
Longitudes de acero que estarán trabajando con el concreto.	116

Lista de Figuras

Figura 1. Dimensiones de la probeta experimental.....	7
Figura 2. Tipos de rejilla CFRP y bloque de concreto con rejilla	32
Figura 3. Diagramas de tensión-deformación y carga-desplazamiento	35
Figura 4. Características dimensionales de los strain gages	39
Figura 5 Separación entre estribos.....	49
Figura 6 Selección de la madera.	51
Figura 7 Selección del acero.....	51
Figura 8 Tubería de PVC.....	52
Figura 9 Preparación de las armaduras	54
Figura 10 Armaduras A, B, y C con longitudes de acero 50, 75 y 25% respectivamente.	55
Figura 11 Medidas de la formaleta. Medidas en centímetros.....	55
Figura 12 formaletas.	56
Figura 13 Armado de formaletas.	56
Figura 14 Engrasado de los moldes de cada uno de los especímenes.	57
Figura 15 Formaletas y armaduras.....	57
Figura 16 Mezcla de los materiales para producir el concreto.	58
Figura 17 Llenado de los moldes de los especímenes.	58
Figura 18 Enrasado de los moldes de los especímenes.	59
Figura 19 Almacenamiento de los especímenes de concreto.	59
Figura 20 Especímenes de concreto desencofrados.....	60
Figura 21 Proceso de curado de los especímenes de concreto.	61
Figura 22 Montaje del ensayo de resistencia.	63
Figura 23 Maquina de carga.	63
Figura 24 Apoyos de primer grado.	64
Figura 25 Ubicación de los deformímetros.....	65
Figura 26 Marco de carga con la viga.....	65
Figura 27 Deformímetros en los extremos de la viga.....	66
Figura 28 Deformímetros en el centro de la viga.	66
Figura 29 Galga extensométrica metálica.....	67

Figura 30 Características de la Galga.	67
Figura 31 Chasis NI cDAQ-9174.	68
Figura 32 Galgas NI 9237.....	69
Figura 33 Programa STRAIN_SF.....	69
Figura 34 Configuración de valores iniciales de STRAIN_SF.....	70
Figura 35 Configuración del cableado en cuarto de puente.....	70
Figura 36 Montaje del chasis.	71
Figura 37 Montaje en la varilla.	71
Figura 38 Ensayo de resistencia a la compresión.	73
Figura 39 Ensayo de resistencia a la compresión.	73
Figura 40 Ensayo de resistencia a la tracción	74
Figura 41 Ensayo de resistencia a la tracción	74
Figura 42 Configuración A1.5 / fisura a 41.89 cms.....	82
Figura 43 Configuración B2.0 / fisura a 27.04 cms.....	82
Figura 44 Configuración C1.0 / fisura a 11.81 cms.....	83
Figura 45 Resistencia a la compresión por mezcla. Fuente de los autores	84
Figura 46 Carga máxima.....	86
Figura 47 Momentos máximos vs cuantía	88
Figura 48 Momento vs % de fibra	89
Figura 49 carga análoga vs tiempo vigas sin fibras de acero.....	90
Figura 50 carga análoga vs tiempo vigas con 1% fibras de acero.	90
Figura 51 carga análoga vs tiempo vigas con 1.5% fibras de acero.	91
Figura 52 carga análoga vs tiempo vigas con 2.0% fibras de acero.	91
Figura 53 Falla característica de las vigas.	93
Figura 54 Distribuciones de estribo y de las barrillas de acero.	100

Lista de Ecuaciones

Ecuación 1 Fibras con diferentes composiciones	30
Ecuación 2 Longitud de desarrollo	34
Ecuación 3 Longitud de desarrollo	43
Ecuación 4 distancia desde la fibra extrema a él centroide del refuerzo longitudinal ...	101
Ecuación 5 Cuantía máxima controlada por tracción	101
Ecuación 6 cuantía de refuerzo	102
Ecuación 7 resistencia nominal.....	102
Ecuación 8 momentos mayorala	102
Ecuación 9 resistencia nominal al cortante.....	103
Ecuación 10 resistencia nominal al cortante proporcionada por el refuerzo de cortante	103
Ecuación 11 separación entre estribos	104
Ecuación 12 volumen del agua	107
Ecuación 13 Resistencia de diseño de la mezcla.	108
Ecuación 14 Cálculo del contenido de cemento.	109
Ecuación 15 Calculo del volumen del cemento.....	109
Ecuación 16: volumen del agregado grueso.	110
Ecuación 17 Peso del agregado grueso.....	111
Ecuación 18 Longitud de desarrollo	115

Lista de Anexos

Anexo 1 Ficha técnica dramix	99
Anexo 2 Diseño de mezcla.	100
Anexo 3 Falla a compresión de cilindro mezcla 3, 2% de fibra	117
Anexo 4 Falla a tracción de cilindro mezcla 3, 1.5% de fibra	118
Anexo 5 Falla a compresión de cilindro mezcla 1	119
Anexo 6 Falla a compresión de cilindro mezcla 2.....	120
Anexo 7 Falla a compresión de cilindro mezcla 3.....	121
Anexo 8 Resultados viga A0.0-3	122
Anexo 9 Resultados viga A1.0-3	123
Anexo 10 Resultados viga A1.5-2	124
Anexo 11 Resultados viga A2.0-2	125
Anexo 12 Resultados viga B0.0-2	126
Anexo 13 Resultados B1.0-1	127
Anexo 14 Resultados viga B1.5-2	128
Anexo 15 Resultados viga C0.0-3	129
Anexo 16 Resultados viga C1.0-2	130
Anexo 17 Resultados viga C1.5-2	131
Anexo 18 Resultados viga C2.0-1	132

Introducción

El uso de fibras de acero en la construcción ha aumentado en los últimos años, ya que este aditivo mejora notablemente las características del hormigón, por ejemplo disminuye la fragilidad del concreto aumentando la resistencia al impacto y al agrietamiento. De acuerdo con Javier Reboul (Corpa, 2012) entre los usos actuales de las fibras se encuentran:

1. Los hormigones de alta resistencia: Los cuales superan los 42 MPa de resistencia a la compresión, generalmente empleados para elementos de grandes edificaciones como columnas, que gracias a tal resistencia pueden poseer secciones transversales relativamente pequeñas.
2. Reparación de estructuras: Allí se utiliza una variación de la técnica de refuerzo llamada Superficie Cercana Montada, la cual implica la adhesión de una capa de concreto reforzado con fibras de acero sobre la superficie que se quiere reparar. Esta adherencia se hace por medio de un compuesto aglutinante que garantiza la transferencia de esfuerzos entre la superficie deteriorada y la nueva capa.
3. Refuerzo para cortante: En piezas pertenecientes a los elementos estructurales de una edificación es importante que, ante la presencia de un evento sísmico, estos no fallen súbitamente por cortante. Algunas investigaciones concluyen que adicional al refuerzo transversal, es de gran ayuda tener una matriz de concreto que incluya fibras de acero que impida o retarde la formación de fisuras.
4. Hormigón proyectado: Es ampliamente usado en el refuerzo de túneles, y consiste en lanzar a presión el hormigón con fibras de acero hacia las paredes, su principal beneficio es el de brindar gran ductilidad a la estructura permitiendo obtener una falla controlada por tracción.

Al incluir fibras de acero al concreto, este adquiere principalmente una mayor ductilidad, entre otras características como resistencia a la fatiga, al cortante, fisuración controlada y aumento en la adherencia entre las barras de acero de refuerzo tradicional y el hormigón; este último de gran importancia en cuanto al comportamiento mecánico de la mezcla de cemento reforzado ya que las barras de acero que se encuentran embebidas en el material, deben tener una cierta longitud de desarrollo que le permita adherirse a la matriz y fluir ante la presencia de cargas que puedan llevar al arrancamiento.

Teniendo en cuenta los beneficios que le aporta este material al concreto, es posible que la longitud de la barra se pueda reducir al incluir fibras de acero en la matriz, es por ello que en esta investigación se busca encontrar la proporción de fibras que permita que una extensión de acero más corta de lo debido funcione bien, es decir, que fluya sin llegar al arrancamiento, todo ello ante la presencia de una carga a flexión, aplicada a una viga de tal forma que se generen esfuerzos de tracción solo en la parte inferior de la misma, más específicamente en el acero de refuerzo principal.

1. Problema

1.1 Línea

Análisis y diseño de estructuras (ESMAV – Semillero de investigación en estructuras, materiales y vivienda)

1.2 Título

Longitud de Desarrollo y Adherencia Para Acero de Refuerzo en Elementos SFRC.

1.3 Descripción del Problema

Dado que no se conoce con exactitud la influencia de las fibras de acero en la longitud de desarrollo, ni en qué cantidades se ve afectada cuando una viga esta solicitada a flexión y además, a pesar de que existe suficiente información acerca de las propiedades mecánicas que le aportan las fibras al concreto reforzado, no hay un buen estado del arte sobre este tema y la influencia de las fibras en la longitud de desarrollo, enfatizando en una amplia libertad de investigación.

1.4 Formulación del Problema

¿Cuál es la influencia de las fibras de acero en la longitud de desarrollo del refuerzo?

1.5 Justificación

Es de conocimiento general que el concreto tiene muy poca resistencia ante los esfuerzos de tracción. Por otro lado, el acero presenta una gran ductibilidad a fuerzas de

tracción, casi 15 veces más a compresión, es por ello, que en un elemento estructural deben actuar juntos.

La longitud de desarrollo es la extensión necesaria que el acero debe estar embebido en la matriz para que no se presente arrancamiento, y es un criterio de gran importancia cuando se habla de concreto reforzado, porque gracias a ella se logra desarrollar el esfuerzo necesario para que el acero llegue a la fluencia y así se produzca una falla controlada, dado que si este no cuenta con la suficiente longitud, la barra no llegará a la fluencia y se presentaran desplazamientos entre la varilla y la mezcla, resultando al final que cada material trabaje por separado.

De acuerdo con la ecuación de la longitud de desarrollo presentada en la NSR-10, este parámetro depende directamente de la resistencia de los materiales y del diámetro de la barra utilizada, lo que nos indica que esta puede disminuir si la resistencia del concreto aumenta y esto se puede lograr adicionándole fibras de acero a la mezcla.

A pesar de que desde hace tiempo existen numerosas investigaciones sobre los efectos de las fibras de acero en el concreto, el uso de estas aún no está reglamentadas por la NSR-10, a excepción de que se especifique su uso a esfuerzos cortantes para elementos estructurales como losas.

Teniendo en cuenta que anteriormente se realizó una investigación con la barra N4 en la cual se obtuvo la influencia de las fibras de acero en la longitud de desarrollo de una viga de 2.12 m de largo por 0.25 m de alto y 0.10 m de ancho, en el presente trabajo se escogió la barra N5 en una viga de las mismas dimensiones, con el fin de poder comparar los resultados

entre estos dos diámetros, dando pie a que en un futuro proyecto de grado se realice una investigación con un diámetro superior, con el propósito de comprobar que la influencia de fibras encontrada aplica para cualquier diámetro. Es necesario indicar que por economía, en este trabajo de grado no se varió el diámetro de la varilla, solo se varió el porcentaje en volumen de fibra que tuvo la matriz de concreto, el cual es de 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0, así como la longitud de desarrollo se tomó con el 25, 50 y 75% de la extensión total y el diseño de mezcla, se realizó para que la resistencia nominal a la compresión de la mezcla fuera de 28 MPa. También es importante enfatizar que se realizaron 3 cilindros por cada bachada, esto para verificar la resistencia final y 3 vigas por cada configuración.

1.6 Objetivos

Objetivo General.

Evaluar y documentar la influencia de fibras de acero en la longitud de desarrollo de una viga sometida a flexión.

Objetivos Específicos.

- Determinar experimentalmente la influencia de la inclusión de fibras de acero en la resistencia al arrancamiento de una barra N°5 NTC-2289 con diferentes longitudes de acero embebidas en el concreto, basados en el reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10).
- Calcular el módulo de elasticidad del concreto con diferentes dosificaciones de fibras de acero.
- Establecer la mínima longitud de desarrollo para una barra N°5 (NTC-2289) en una viga solicitada a flexión a partir de los datos obtenidos en el laboratorio con diferentes longitudes de desarrollo.

2. Antecedentes

A lo largo de los años, las fibras han estado presentes en la construcción, haciendo parte de elementos estructurales, como la tapia pisada, adobes y muros, se han utilizado diferentes clases de fibras, desde las de origen vegetal como la caña de azúcar, el coco, y el bambú, y las de origen animal como pelos de cabra o de caballo; y más recientemente se implementaron las fibras de asbesto, muy utilizadas en tejas para cubiertas y en hormigón, dado que le confiere resistencia flexo tracción, pero discontinuadas en la actualidad por los efectos cancerígenos sobre la salud humana. También son comerciales las fibras de vidrio, con las cuales, los elementos de hormigón pueden reducir su espesor, pero es altamente sensible a la acción de los álcalis.

Los estudios de incorporación de fibras de acero en concretos reforzado datan de antes del año 1980, en ellos se determinó que las fibras en mezclas de hormigón incrementan significativamente las propiedades físicas, como la flexibilidad y durabilidad, a la vez que disminuye su tendencia a agrietarse. (Lozanon, 2011).

En la actualidad se han hecho varias e importantes investigaciones acerca de las cualidades que le aporta la inclusión de fibras de acero al concreto, así como otras en donde se investiga la fuerza de adherencia que posee una barra embebida en la mezcla con aditivos y además el uso de strain gages para medir deformaciones. A continuación, se presentará una recopilación de algunos de estos estudios:

Correlaciones entre las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de acero (Carrillo, Aperador, & Giovanni, 2012)

Este tuvo como propósito caracterizar las propiedades mecánicas del CRFA (Concreto reforzado con fibras de acero) para proponer nuevas ideas en cuanto a diseño estructural para vivienda de interés social (VIS), que aumente el uso de fibra como refuerzo a diferentes fuerzas, más específicamente cortante en el alma de muros de concreto. La metodología consistió en el ensayo de 128 especímenes en forma de cilindros y vigas. De acuerdo con los lineamientos especificados en ACI 318, se seleccionaron tres fibras Dramix con relaciones longitud – diámetro de 55, 64 y 80. Se utilizaron cinco dosificaciones: 0, 40, 45, 60 y 75 %. Se concluyó que con la inclusión de fibras de acero la manejabilidad del concreto disminuyó, así mismo el módulo de elasticidad, y en cuanto al comportamiento a compresión, en términos generales, la fibra de acero genera que el concreto pierda resistencia, pero gana ductilidad cuando este se somete a fuerzas axiales de compresión. Por otro lado, la resistencia máxima a tensión por flexión, y su deformación unitaria asociada, así como la tenacidad, aumentaron proporcionalmente con el contenido de fibras de acero.

Longitud de desarrollo para una barra NTC-2289 en un elemento de SFRC a flexión. (Fuentes & Sierra, 2016)

Recientemente se realizó la investigación de Fuente & Sierra, (2016) donde se evaluó la posibilidad de reducir la longitud de desarrollo gracias a la inclusión de fibras de acero, dado que no se conoce en qué porcentaje aumenta la resistencia al arrancamiento y en qué proporción disminuye la longitud de desarrollo. Se realizaron 12 composiciones diferentes de vigas, en donde se varió la longitud de desarrollo y el porcentaje de fibras incorporado a

la mezcla, así: 50, 75 y 100% la longitud de desarrollo calculada de acuerdo con la NSR-10, y 0, 0.5, 1 y 1.5% de fibras del volumen total de la viga. Se concluyó que la longitud de desarrollo se puede reducir hasta un 25% siempre y cuando el contenido de fibras de acero sea al menos del 1%.

El deslizamiento que se presenta entre barras de acero y el concreto que las cubre en vigas a flexión, se disminuye empleando fibras de acero como refuerzo secundario.

Estudio del comportamiento de la interfaz fibra-matriz solicitada a carga de Pull-Out con fibras cortas de acero y concretos de resistencia normal. (Pira, 2016)

Este tiene como objetivo determinar la interfaz fibra-matriz a través de ensayos de arrancamiento o pull-out hechos a 4 tipos diferentes de fibras embebidos en probetas cilíndricas de concreto.

Con el fin de determinar el tamaño que tendría la probeta con la que se realizarían los ensayos, primero se procedió a hacer una modelación numérica por elementos finitos en el programa ANSYS®, allí se simuló diferentes estados de carga, el primero a tracción y el segundo de Pull-Out, y varios tamaños de probeta (con alturas y diámetros que tuvieran una relación de 1 a 1, 300mm, 200mm, 100mm y 50mm), otra de las variables a analizar fue la longitud de fibra que estaría embebida en la probeta $l_f = 20\text{mm}$ y 40mm , para la simulación se modelaron 16 probetas con diferentes combinaciones. A continuación, se corrieron los modelos variando las condiciones de apoyo en pares de cilindros y luego se analizaron y se compararon las gráficas de carga vs desplazamiento, estas arrojaron que, para las longitudes embebidas de 40 mm y 20 mm, las probetas que más variaciones tuvieron fueron las de 300

mm y 50 mm, respectivamente. También se analizaron las gráficas de desplazamiento relativo en la superficie del concreto, para identificar con que configuración se ve más afectado o más deformado el concreto alrededor de la fibra solicitada, pero al observar los resultados, se pudo apreciar que los valores de deformación fueron muy parecidos sin importar el tamaño de la probeta ni el tipo de ensayo. Como conclusión en esa primera parte, se determinó que la probeta a utilizar en los ensayos experimentales fue la de 100 mm de altura e igual diámetro, la longitud embebida de la fibra tendría 3 valores, de $3/4 * l_e$, $1/2 * l_e$ y $1/4 * l_e$, además se utilizaron 4 tipos de fibras cortas de acero y 3 diseños de mezcla con resistencias de 24 MPa, todo ello para contar con un total de 36 configuraciones de probetas y dado que se realizaron 3 ejemplares por cada configuración, se obtuvieron en total 108 cilindros de concreto.

El ensayo de Pull-Out se realizó en una maquina universal de laboratorio que aunque muestra en pantalla los desplazamientos conforme se va aplicando la carga, en el momento en que el espécimen se encuentra en el rango elástico, existen deformaciones muy pequeñas que no se registran, por lo cual se debió emplear un transformador diferencial variable lineal o LVDT que tuviera una sensibilidad capaz de registrar esos desplazamientos; además con el objetivo de que las condiciones del ensayo fueran iguales a las del modelo, fue necesario instalar una serie de aditamentos que entre otras permitieran sujetar la fibra y la probeta para que se pudiera aplicar la fuerza correspondiente.

Luego de solicitar los cilindros a tracción y para poder determinar la curva de esfuerzo normal vs deformación longitudinal unitaria, se procedió a dividir los datos de desplazamiento entre la longitud embebida de la fibra y los de carga entre el área transversal de la viga, pero al tener dos medidas de desplazamiento, una arrojada por la maquina

universal y la otra por el programa LVDT, fue necesario suavizar y acoplar estos datos, esto se logró por medio de programa graficador *gnuplot*; ya con la curva suavizada, se procedió a señalar el esfuerzo máximo y su correspondiente deformación pero debido a las diferencias entre los desplazamientos, se decidió calcular el área de la curva de la gráfica esfuerzo-deformación unitaria longitudinal la cual corresponde a la energía disipada durante el arrancamiento U_T .

En total para cada una de las 36 configuraciones, se calculó el índice de ductilidad, la deformación máxima junto con su correspondiente deformación, la energía elástica, la energía total y la energía inelástica, y las dos pendientes del triángulo resultante de la curva simplificada. Como resultado final, se determinaron una serie de ecuaciones que definen el comportamiento de la fibra embebida en el concreto y solicitada a fuerzas de Pull-Out, esta depende de la longitud embebida de la fibra y la resistencia del concreto, se definió una ecuación por cada tipo de fibra, como se muestra a continuación:

Ecuación 1 *Fibras con diferentes composiciones*

$$\left\{ \begin{array}{l} E_e^I = \left[230.11 \cdot \left(\frac{l_e^f}{d^f} \right)^{0.353} \right] \cdot f_c' \\ U_T^I = \left[-0.111 \cdot \left(\frac{l_e^f}{d^f} \right) + 6.6458 \right] \cdot f_c' \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} E_e^I = \left[35633 \cdot \left(\frac{l_e^f}{d^f} \right)^{-1.174} \right] \cdot f_c' \\ U_T^I = \left[-0.278 \cdot \left(\frac{l_e^f}{d^f} \right) + 12.936 \right] \cdot f_c' \end{array} \right\}$$

Fibra lisa con gancho al final (A) Fibra lisa con ondulada circular (B)

$$\left\{ \begin{array}{l} E_e^I = \left[33655 \cdot \left(\frac{l_e^f}{d^f} \right)^{-0.742} \right] \cdot f_c' \\ U_T^I = \left[-0.1861 \cdot \left(\frac{l_e^f}{d^f} \right) + 14.581 \right] \cdot f_c' \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} E_e^I = \left[11.513 \cdot \left(\frac{l_e^f}{d^f} \right)^{0.8664} \right] \cdot f_c' \\ U_T^I = \left[-0.0416 \cdot \left(\frac{l_e^f}{d^f} \right) + 2.5942 \right] \cdot f_c' \end{array} \right\}$$

Fibra lisa con gancho al final esbelta (C) Fibra trefilada con ondulada (D)

Fuente Estudio del comportamiento de la interfaz fibra-matriz solicitada a carga de Pull-Out con fibras cortas de acero y concretos de resistencia normal (Pira, 2016)

Dosificación de hormigón reforzado con fibras de acero (Moreno & Fernandez, 2000)

En la investigación, los autores Moreno y Fernández, realizan una descripción de cada una de las variables como cemento y agua, granulometría de los agregados, volumen de las fibras de acero y aditivos, que interfieren en la correcta trabajabilidad y manejabilidad del concreto reforzado con fibras de acero, además dan ciertos consejos con los cuales se pretende llegar a la mejor relación posible entre los dos materiales, mezcla de concreto y fibras de acero.

Para la determinación de la relación agua/cemento no se necesita tener en cuenta ningún detalle en especial, más que los necesarios para hacer un diseño de mezcla normal, como resistencia a la compresión, tiempo de fraguado, tipo de ambiente al que va a estar expuesto, retracción plástica, entre otros. En este estudio se aconseja que el tamaño máximo del agregado se encuentre entre los $\frac{2}{3}$ y $\frac{1}{2}$ de la longitud de la fibra, además se presenta una tabla en donde se sugiere un tamaño máximo de agregado que depende del diámetro vs. volumen de fibras en porcentaje; existe una situación en donde la baja viscosidad de la mezcla puede llevar a la rigidización de las fibras, esto se puede deber al tipo de cemento utilizado y la absorción de los agregados, allí es donde el uso de aditivos es una gran ventaja, ya que estos pueden producir una buena docilidad y mejorar características como resistencia y durabilidad; por último, teniendo en cuenta que el uso de fibras en el concreto tiene una gran acogida en la fabricación de las paredes de los túneles, se dan algunas recomendaciones en cuanto al concreto proyectado, indica que la longitud de las fibras debe ser menor que la mitad del diámetro del conducto por el cual es lanzada la mezcla, estas fibras generalmente son de 30 mm de largo y 0,5 mm de diámetro.

Experimental investigation into the development length of carbon-fiber reinforced polymer grids in concrete (Qingrui, Zongquan, Rong, & Xiaobing, 2017).

En esta investigación se caracteriza el comportamiento de rejillas de polímero reforzadas con fibra de carbono CFRP embebidas en bloques de concreto. Para ello se realizaron 18 especímenes, que constan de tres resistencias de hormigón diferentes, 34, 42 y 55 MPa y 6 tipos de refuerzo de rejilla como se muestra en la Figura 2



Figura 2. Tipos de rejilla CFRP y bloque de concreto con rejilla

Fuente. “Strain gages. Fundamentos y aplicaciones en resistencia de materiales” (Qingrui, Zongquan, Rong, & Xiaobing, 2017)

Para su análisis se empleó el método de extracción, el cual consiste en aplicar una carga estática monolítica aplicada en la superficie del hormigón, lo cual lleva a un esfuerzo de compresión que rodea la rejilla. Durante el ensayo se registró el deslizamiento del extremo libre de las barras y la carga aplicada. Por último, se concluyó que la diferencia de resistencias de concreto no influyó considerablemente en los resultados. Por otra parte, el factor más determinante a la hora de desarrollar una tracción completa por parte de las barras fue el número de elementos transversales que poseía la rejilla, por ejemplo, el espécimen que tenía tres barras transversales logró llegar a la fluencia con una longitud embebida de 150mm.

Bond strength and development length of glass fiber-reinforced polymer bar in unconfined self-consolidating concrete (Mousavi, Dehestani, & Mousavi, 2016)

Este se centra en disminuir la longitud de desarrollo de una barra modificando el material del que está constituida ésta, mas no interviene en las características de la matriz de concreto, así pues, Mousavi, Dehestani, & Mousavi, (2016) recubren la barra embebida en el concreto con un tipo de fibra, en este caso de vidrio, y el concreto a utilizar, es autocompactante (SCC) que se diferencia del normal (CN) por que disminuye su porcentaje de agregado grueso al mínimo, pero incluye una cantidad considerable de polvo de caliza, lo cual le aporta la suficiente fluidez para llenar todos los espacios entre las barras sin necesidad de vibrarlo. Se presentan las ecuaciones existentes que podrían definir la adhesión existente entre las barras y el CN y el SCC, pero, también demuestran que las fórmulas existentes tienen un alto grado de desviación, por lo cual no definen de manera correcta este comportamiento. Está demostrado que la barra o polímero reforzado con fibra de vidrio tiene una fuerza de adhesión mayor en el SCC que en el CN, por ende, necesita una longitud de desarrollo menor. Posteriormente se realizan ensayos utilizando cilindros de concreto de dimensiones de 75 mm y 150 mm de radio con barras recubiertas con fibras de vidrio de diámetros de 8, 10 y 12 mm y una longitud embebida de 5 veces el diámetro de cada cilindro. Con los resultados de esos ensayos, y mediante el uso de un software STATISTICA especializado en estadística, se desarrolla una ecuación mucho más acertada que las encontradas anteriormente,

Ecuación 2 Longitud de desarrollo

$$ld = \frac{D \left(\frac{fy}{fc^{(2/3)}} - 4 \right)}{-34.2131 + 0.9788 \frac{C}{D} + 58.2429 \frac{Fine}{All} Agregate}$$

Fuente “Strain gages. Fundamentos y aplicaciones en resistencia de materiales” (Mousavi, Dehestani, & Mousavi, 2016)

Donde:

ld = longitud de desarrollo en mm

C = cubierta de concreto en mm.

D = diametro de la barra en mm .

f'c = resistencia especificada a la compresion del concreto en MPa.

fy = resistencia a la traccion de la cubierta GFRP en MPa.

Este nuevo modelo tiene 21,82% de desviación y un valor de coeficiente de variación es de aprox. 1,06.

Estudio del comportamiento a cortante de vigas (Turmo, Banthia, Gettu, & Barragán, 2008)

El artículo caracteriza los ensayos que se deben hacer al hormigón reforzado con fibras de acero. Además realiza una serie de pruebas a una viga reforzada con tres tipos de fibra de 50 mm de longitud y con una proporción de 1% del volumen , una de polipropileno con extremos ondulados (S-152 HPP); una de acero con extremos deformados (Dramix RL 45/50 BN) y otra de acero con terminaciones achatadas (Novotex 1050) , y compara la resistencia a cortante alcanzada por estas con los valores obtenidos de la ecuación presentada

en el ACI- 318 02 y otras fórmulas presentes en algunos códigos europeos de construcción, para proyectar la resistencia a cortante con inclusión de fibras.

Se realizaron ensayos de compresión a cilindros de 100x200 mm y ensayos de flexo-tracción con carga aplicada en el tercio de luz a probetas prismáticas de 100x100x350 mm, estos resultados muestran un aumento en la tenacidad del material como se aprecia en la Figura 3, pero una disminución en la resistencia a compresión, la cual como se puede observar, está por debajo de la resistencia de un concreto que no contiene fibras.

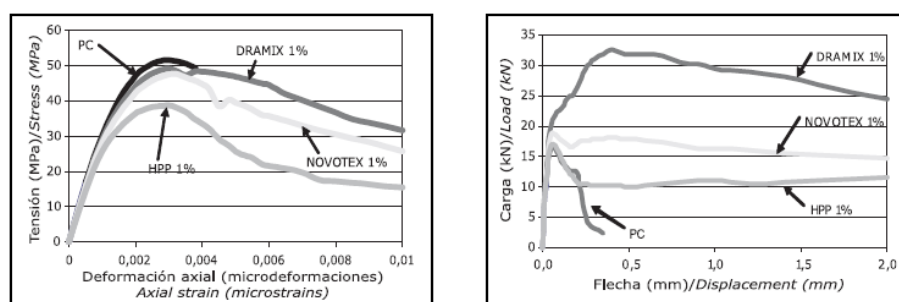


Figura 3. Diagramas de tensión-deformación y carga-desplazamiento

Fuente “Estudio del comportamiento a cortante de vigas” (Turmo, Banthia, Gettu, & Barragán, 2008).

Al comparar los resultados de carga última de cortante presentado por los ensayos, con las ecuaciones de Al-Ta'an y Al-feel, Campione y Mindess, Rilem (ACI 318-02), y Dupont y Vandewalle, se observa que la que tiene un resultado más cercano al mostrado por el ensayo es la de Al-Ta'an y Al-feel con una diferencia de 8 MPa, mientras que el desfase entre los otros valores y el original estuvo entre 14 a 23 MPa, lo que indica que la fórmula de A&A es la más acertada. Por último, se concluyó que las vigas que contenían 1% de fibra respecto a las que contenían el mismo porcentaje, pero en forma de estribos, tuvieron un

cortante último menor. Esto se puede deber a que las fibras tenían orientaciones muy variadas, en cambio los estribos estaban dispuestos de modo que su principal función fuera resistir el cortante.

Comportamiento del concreto reforzado con fibras de acero (Gallo, Gonzalez, & Carillo, 2013)

La primera parte del artículo presenta algunos de los modelos existentes que definen la curva esfuerzo-deformación del concreto reforzado con fibras de acero (CRFA) sometido a esfuerzos de compresión; la mayoría de las cuales se basan principalmente en la curva representativa de un concreto normal. Ezeldin & Balaguru (1992), basados en una fórmula funcional de Carreira & Chu (1985), fueron unos de los primeros autores en plantear una ecuación que describiera el comportamiento del CRFA. A partir de ahí otros investigadores como Mansur, Nataraja, Araujo, Oliveira y Prashant se basan en Ezeldin & compañía y modifican algunos términos de su ecuación basados en sus investigaciones, las cuales básicamente realizan ensayos en probetas que varían parámetros como la resistencia del diseño de mezcla desde 35 MPa hasta 120 MPa, porcentaje de fibra de 0, 0.5, 0.75, 1, 1.5 y 2% , y por último una relación diámetro/longitud 55, 60, 64, 75, 82 y 100. Adicionalmente, estos autores formularon ecuaciones para hallar el módulo de elasticidad del concreto.

El programa experimental de la investigación se centró en el ensayo de 16 cilindros de concreto de 15x30 cm y 32 de CRFA de igual dimensión, reforzados con fibras ZP-360 en tres dosificaciones 0.19, 0.38 y 0.76% del volumen. El diseño de mezcla para el concreto fue de 25 MPa. En cada ensayo se midió el asentamiento del CRFA así como la cantidad real

de fibras por cada cilindro, la cual consistió en que inmediatamente después de haber vertido la mezcla de CRFA a un cilindro, se procedió a lavarla para deshacerse del cemento y recolectar las fibras por medio de un imán para luego pesarlas. También se realizaron pruebas de resistencia a la compresión, de donde aparte de sacar este parámetro, se dedujo por medio de regresiones lineales el módulo de elasticidad y la relación de poisson, para después realizar un detallado análisis y obtener finalmente las ecuaciones propuestas para describir el comportamiento del concreto reforzado con fibras de acero, las cuales se muestran a continuación:

Tabla1
Ecuaciones de resistencia a compresión, deformación y volumen de fibras

Ecuación	Unidad	Parámetro estadístico
$f_{cf} = [0.99 - 0.0003V_f(l_f/d_f)]f_c$	MPa	$r = 0.18$
$E_{cf} = [4066 - 17.8(V_f(l_f/d_f))] \sqrt{f_c}$	MPa	$r = 0.77$
$v = 0.12 - 0.0006(V_f(l_f/d_f))$	---	$r = 0.73$

Fuente “Comportamiento del concreto reforzado con fibras de acero (Gallo, Gonzalez, & Carillo, 2013)”

Donde:

f_{cf} = resistencia a compresión del CRFA.

f_c = concreto normal.

E_{cf} = deformación del CRFA asociada a f_{cf} .

$V_f \frac{l}{d_f}$ = fracción de volumen de fibras en función de la relación de aspecto longitud /diámetro.

Al comparar los resultados arrojados por medio de estas ecuaciones, se obtiene que la ecuación propuesta tiene poca sobre-predicción con tan solo 8.33%, igualmente la

variación de los datos con 2.23% es muy baja, en resumidas cuentas, la fórmula propuesta posee un alto grado de confiabilidad.

Adicionalmente se han realizado varias investigaciones en las que el componente principal es la medición de esfuerzos por medio de galgas extensiométricas o strain gages, los cuales son básicamente sensores piezoresistivos que cambian su resistencia ante la presencia de deformaciones en el elemento al cual el Strain está adherido, esto permite determinar diferentes fuerzas. A continuación, se muestran dos investigaciones relacionadas con este tema.

Medición de esfuerzos y deformaciones en barras metálicas utilizando galgas extensiométricas. (Yapur, García, & Salazar, 2012).

Allí se describe que una galga extensiométrica es “Un dispositivo transductor universal que se utiliza para la medición electrónica de diversas magnitudes mecánicas, como puede ser: presión, carga, torque, deformación, posición, etc.”. Allí, Yapur, García y Salazar presentan una definición general del funcionamiento de los strain gages, además desarrollan un mecanismo que transforma las pequeñas variaciones en las resistencias a cifras visualizadas en la pantalla de un PC, esto se logra por medio de un amplificador de instrumentación, dos tipos de filtros y un microcontrolador. Por otra parte, ellos verificaron su funcionamiento conectando los sensores a una superficie simulando una balanza, sobre la cual se colocaron varios objetos de peso conocido, para finalmente contrastar el valor arrojado por las galgas y el peso real, dando como resultado valores muy cercanos.

Fundamentos y aplicaciones en resistencia de materiales (Casallas, 2006).

Existe infinidad de aplicaciones para los strain gages, tal como lo menciona (Casallas, 2006) “Estos medidores de deformación han sido usados ampliamente en la industria automotriz, locomotriz, puentes, edificios, maquinas, herramientas y en la industria aeroespacial. [...] uso como unidad de percepción en fluidos a presión, torquímetros, comparadores, acelerómetros, celdas de carga y otros instrumentos”. En su investigación, como se observa en la Figura 4, Casallas presenta las características dimensionales de los strain gages,.

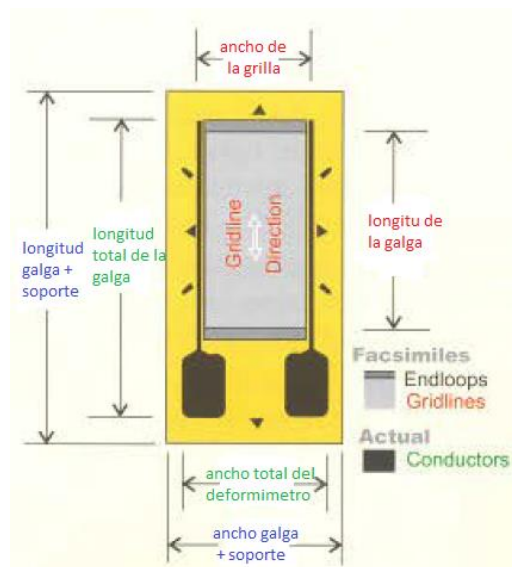


Figura 4. Características dimensionales de los strain gages

Fuente “Strain gages. Fundamentos y aplicaciones en resistencia de materiales” (Casallas, 2006).

Adicionalmente, se describen los parámetros básicos que hay que tener en cuenta para escoger un tipo de strain gages, como: el material del alambre, el cual define el tipo de uso que se le dará a la galga dependiendo de la clase de aleación del que está hecho; el factor de la galga, que determina la sensibilidad del deformímetro; el material del soporte.

Qué cualidades debe poseer el deformímetro: La serie, la longitud, el modelo, es decir, su configuración uniaxial, biaxial o triaxial y el tipo de construcción plana o superpuesta y la deformación promedio.

También explica los fundamentos de operación y los circuitos eléctricos más utilizados, entre ellos se encuentra el puente de Wheatstone el cual es el más preciso y por lo tanto el más utilizado, pero con un inconveniente y es que en él solo se puede manejar un deformímetro, es por eso que se han derivado otros circuitos de este, como lo son las conexiones de medio puente y de un cuarto de puente, que permiten el uso de varios, de esa manera se puede realizar la medición de varias fuerzas, como flexión, tracción, compresión y torque.

Es importante tener en cuenta que sea cual sea la fuerza que se desee medir, es necesario establecer la constante de puente, la que de acuerdo con el autor “determina el factor de amplificación de salida. Es decir, dependiendo del número y posición de los deformímetros en el puente, se puede tener una mayor sensibilidad de la lectura”. Finalmente se analizan las situaciones más comunes en las que se puede presentar el puente de Wheatstone, tales como: cargas de tracción con flexión y tracción sin efectos de flexión, cargas de flexión con tracción, tracción sin efecto de flexión y tracción con máxima y mínima sensibilidad, y torsión con uno o más deformímetros.

3. Marco Referencial

3.1 Marco Conceptual

3.1.1 Adherencia

Uno de los objetivos del diseño de mezcla es buscar la manera de que no se presenten deslizamientos de las varillas en relación con el concreto, es decir que un buen funcionamiento se verá reflejado cuando estos dos actúan como uno solo, dado que si no hay unión entre ambos materiales y la varilla no está anclada adecuadamente (en sus extremos), puede presentar desplazamiento. La viga se comportará como un elemento sin refuerzo y estará propenso a un colapso repentino al instante que el concreto se agriete dado su naturaleza frágil. Si hay grietas estas pueden afectar drásticamente a la adherencia.

Es importante resaltar que en el punto donde se genera la grieta, toda la tensión longitudinal será resistida por la varilla de refuerzo. La correcta adhesión de las varillas de refuerzo se debe a varios factores incluyendo la adherencia química entre los dos materiales, la fricción debida a la rugosidad natural de las varillas y el apoyo en el concreto de las corrugaciones estrechamente espaciadas en las superficies de las varillas. (Jack McCormac, Russell Brown).

3.1.2 Acero de refuerzo

Las barras de refuerzo corrugado para elementos de concreto con fibras de acero, deben ser de acero de baja aleación que cumplan con la norma NTC 5214.

“Las características físicas, químicas y mecánicas del acero dependen directamente de las proporciones en que se combinan estos elementos, puesto que cada uno de ellos se emplea en la aleación con un fin específico”. (Fabián Lamus Báez y Sofía Andrade Pardo, 2015).

3.1.3 Fibras de acero

Las fibras son elementos delgados con diferentes longitudes y diámetros generalmente esbeltos, que pueden ser utilizados para formar hilos del material que estén compuestos. Las ventajas principales del hormigón con fibras de acero son:

- Hormigón dúctil (fácil de deformarse, moldearse, malearse o extenderse) con una capacidad elevada de soportar las cargas.
- Control de fisuras.
- Durabilidad.
- Aplicación rápida y fácil.
- Solución rentable.

Para llevar a cabo la investigación, se utilizarán fibras cortas de acero de la marca Dramix 3D, las cuales cuentan con una longitud de 60 mm y diámetro 0.75 mm; tal como lo muestra su respectiva ficha técnica en los anexos.

3.1.4 Longitud de desarrollo

“Se basa en el esfuerzo de adherencia obtenible sobre la longitud embebida del refuerzo. La longitud de desarrollo se requiere en gran medida por la tenacidad de las barras

sometidas a esfuerzos altos a fisurar, el concreto que retiene la barra cuando las secciones de concreto son relativamente delgadas. Una barra individual embebida en una masa de concreto no necesita una longitud de desarrollo tan grande; aunque una fila de barras, aun en concreto masivo, puede crear un plano débil con agrietamiento longitudinal a lo largo del plano de dichas barras. El concreto requiere extensiones mínimas del refuerzo más allá de todos los puntos de esfuerzo máximo en el refuerzo. Las secciones críticas para el desarrollo del refuerzo en los elementos sometidos a flexión son los puntos donde se presentan esfuerzos máximos y puntos del vano donde se dobla el refuerzo adyacente”. (Reglamento colombiano de construcción sismo resistente, 2010).

Según Lamus & Andrade (2015), se denomina longitud de desarrollo aquella con la que se puede lograr que la barra desarrolle la fuerza de fluencia tal como lo indica la siguiente ecuación:

Ecuación 3 Longitud de desarrollo

$$L = \frac{1}{\gamma} * \frac{f_y}{\lambda * \sqrt{f'_c}} * db$$

Fuente “concreto reforzado, fundamentos” (Lamus & Andrade, 2015)

Dónde:

f_y : Esfuerzo de fluencia del acero (420 MPa).

db : Diámetro nominal de la barra de acero.

f'_c : resistencia especificada de concreto a compresión.

λ : Coeficiente que depende si el concreto es de peso liviano.

α : constante que depende de la forma de los resaltos de la barra y de la distribución de esfuerzos a lo largo de la misma.

“Cuando la matriz de concreto cuenta con una mayor resistencia se requiere menor longitud de desarrollo, y viceversa. es necesario que el acero fluya es conveniente emplear barras de menor diámetro puesto que además de tener una menor longitud de desarrollo tiene una menor zona de influencia sobre el concreto adyacente, debido a que la fuerza que deben transmitir al mismo por unidad de longitud es menor”. (Fabián Lamus Báez y Sofía Andrade Pardo, 2015).

3.1.5 Comportamiento a flexión

“Cuando se proporciona refuerzo de acero en la zona de tracción se le permite al elemento equilibrar la fuerza de compresión mediante una fuerza de tracción que se transfiere, sección a sección, mediante el mecanismo de adherencia entre el concreto y el acero. Sin embargo, la presencia de las barras de refuerzo longitudinal no impide la formación de fisuras, pero sí las controla en cierta medida, ya que la apertura de las mismas está supeditada a la tasa de deformación en la barra de acero”. (Fabián Lamus Báez y Sofía Andrade Pardo, 2015)

3.1.6 Concreto reforzado con fibras de acero (SFRC)

Se compone por los mismos componentes del concreto (agua, cemento y agregado mineral) y adicionalmente fibras de acero. La incorporación de las fibras, además de alterar

el comportamiento mecánico de la mezcla en estado endurecido, también lo hace en estado fresco; por lo que a algunos de los componentes se les exigen condiciones que en el hormigón tradicional no son necesarias.

De acuerdo con la cantidad de fibras que se adiciona y de la geometría de este, el material compuesto tendrá que sufrir ciertas modificaciones respecto del concreto normal, las cuales pasan principalmente por una limitación en la selección del tamaño máximo del agregado, ya que, si este es demasiado grande, interferirá con la distribución de las fibras en la mezcla. Además, la fluidez del hormigón no debe ser muy baja. Este parámetro se denomina asentamiento o slump, el cual, junto con el contenido de aire, facilitan la repartición homogénea de las fibras de acero. También es recomendable tener menores valores de relación grava-arena, mayores cantidades de aditivos reductores de agua, y mayor demanda de finos, entre otros. (Patricia Cristina Mármol, 2010).

3.2 Marco Legal

De acuerdo con C.3.5.1 del Título C de la NSR-10 las fibras de acero deformadas dispersas se permiten solamente para resistir cortante en elementos de flexión; además en C.3.5.8 se indica que el acero usado en refuerzo para concreto compuesto por fibras dispersas de acero debe cumplir con la norma NTC 5214 la cual define las propiedades y especificaciones de las fibras de acero destinadas para este fin.

De igual manera en C.5.1.6 se especifica que el concreto reforzado con fibras de acero debe cumplir con la norma NTC 5541, la cual lista las propiedades del hormigón modificadas

por la inclusión de fibras y señala las recomendaciones de mezclado, transporte y manipulación, igualmente establece las tolerancias de variación sobre las propiedades más importantes de la mezcla reforzados con fibra de acero.

4. Metodología

La metodología que se implementó en este proyecto de grado fue de tipo experimental. El proyecto comenzó con la selección de las medidas de la probeta sobre la que se realizaron los ensayos, identificando los parámetros a variar y las cantidades o dimensiones de cada uno. Posteriormente se seleccionaron los materiales constructivos tales como el cemento, grava, arena, acero, madera y fibras de acero. Luego, se realizó el diseño de mezcla para una resistencia a la compresión de 28 MPa (4000 PSI), y se procedió con el diseño de mezcla, utilizando la metodología propuesta en el libro CONCRETE MIX DESIGN (Mario, Silvia, & Roberto , 2014); la cual se explica en el numeral 4.4 y la longitud de desarrollo con el libro CONCRETO REFORZADO: FUNDAMENTOS (Lamus & Andrade, 2015)

El siguiente paso fue la elaboración de cada una de las probetas de acuerdo a los parámetros de análisis seleccionados; es decir, la longitud de desarrollo y el porcentaje de fibra. Al finalizar la construcción de la armadura de acero y la formaleta se llevó a cabo la fundida y curado de las vigas. De cada una de ellas se realizaron los ensayos que permitieron obtener los datos de análisis e interpretación, y de esta manera poder obtener las conclusiones.

4.1 Descripción de los Elementos

Se realizaron 36 especímenes con dimensiones de 10 x 20 cm; agrupados en 12 vigas por cada longitud de desarrollo analizada, cuyas variables de análisis fueron: la longitud de

desarrollo, para la cual se manejaron tres variaciones 25,50 y 75% de la longitud total; y el porcentaje de fibra de acero con cuatro cuantificaciones, 0, 1, 1.5 y 2% del volumen total de la viga como se muestra en la tabla 2. Este porcentaje se calculó de acuerdo con el volumen de cada viga y de cada cilindro, resultando ser 0.05 m³ y 0.001571 m³ respectivamente.

Tabla2
Porcentaje de fibras con sus respectivas longitudes de desarrollo.

Longitud de desarrollo			
porcentaje de fibras	25%	50%	75%
0.0%	0.0%-25%	0.0%-50%	0.0%-75%
1.0%	1.0%-25%	1.0%-50%	1.0%-75%
1.5%	1.5%-25%	1.5%-50%	1.5%-75%
2.0%	2.0%-25%	2.0%-50%	2.0%-75%

Fuente de los autores

Cada viga de concreto reforzado contó con un tamaño de 212 cm de largo, 25 cm de alto y 10 cm de ancho. Se utilizaron 20 estribos N°2 de acero ASTM-A36, con un espesor de 6.4 mm. Adicionalmente, 4 pernos roscados de 6,35 mm SAE 1040 y 12cm de largo, los cuales tenían la función de sujetar una articulación de acero que se encontraba en la parte central de la viga. Es de gran importancia indicar que el espécimen está compuesto por dos subvigas de 1 m cada una, unidas por una barra de acero que la atraviesa en la parte inferior. En la parte superior están sujetas por una articulación metálica de 12 cm de largo, que permite que la viga gire, y que solo se vea afectada por la tracción presente en la mitad inferior.

aledaña. Se tuvo en cuenta que los productos fueran de buena calidad, apropiados para ser utilizados en el sector de la construcción y respaldados con garantía de factura.

4.2.1 Cemento.

Siendo el cemento uno de los materiales más importantes e indispensables para este trabajo, se utilizó la marca Argos Cemento Gris con una presentación de 50 Kg por bulto, la cual cumple con todos los requerimientos de las normas técnicas NTC 121 y NTC 321.

4.2.2 Agregados.

El agregado para el concreto se considera como todo aquel material que tiene cierta resistencia propia y una composición química que no afecta las propiedades y características del hormigón. De acuerdo con esto, el agregado fino implementado para este trabajo fue arena de río, y el agregado grueso fue grava con tamaño máximo de 1/2", cumpliendo con los requisitos mínimos de características y especificaciones para su resistencia y manejabilidad.

4.2.3 Madera

Se utilizó una madera tipo formaleta Triplex contrachapado como se muestra en la figura 6, revestida en las dos caras de una película de peso ligero, resistente al agua, y a la corrosión, entre otras particularidades, esta se puede usar para entorno abierto. Por su alta resistencia y otras características, se utilizó este tipo de madera con el fin de ser reutilizada.



Figura 6 *Selección de la madera.*

Fuente de los autores

4.2.4 Aceros

El acero utilizado fue varilla maciza circular, con corrugas transversales uniformemente distribuidas en toda su longitud, como se observa en la figura 7. Se utilizaron dos diámetros, el primero de 5/8 pulgada (15.8 mm) para la barra principal y el segundo de 1/4 pulgada (6.4 mm) para los refuerzos secundarios, y para los estribos de sección cuadrada con un perímetro de 7 x 14 cm, resaltando que todo el acero de refuerzo cumple con la norma técnica NTC 2289 para construcción sismo resistente.

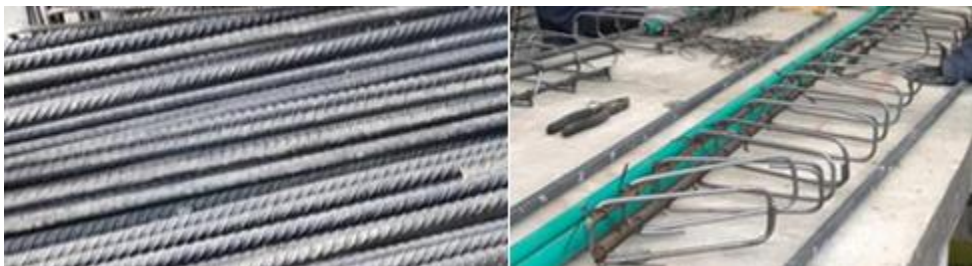


Figura 7 *Selección del acero.*

Fuente de los autores.

4.2.5 Tubería de PVC

La tubería PVC utilizada en este proyecto fue muy importante para garantizar la longitud de desarrollo del acero. Se utilizó Tubo conduit, como el mostrado en la figura 8, con un diámetro de $\frac{3}{4}$ pulgada, cumpliendo con las normas NTC 979 para la construcción sismo resistente.



Figura 8 *Tubería de PVC.*

Fuente de los autores.

4.2.6 Fibras de acero

Las fibras adicionadas en la mezcla son de características Dramix 3D (80/60BG) con una resistencia a la tracción de $1.225 \frac{N}{mm^2}$, y un Módulo de Elasticidad igual a $210.000 \frac{N}{mm^2}$ (Ver ficha técnica en Anexo A). Es de considerar que estas fibras ofrecen una alta durabilidad y facilidad de uso, además se ha demostrado que el uso de estas garantiza un incremento del comportamiento dúctil del concreto.

4.2.7 Diseño de mezcla

El diseño de mezcla se basó en el libro Concrete Mix Design (Mario, Silvia, & Roberto, 2014), a continuación, se encontrará en la tabla 3 y 4 un resumen, y en anexo 2 se explica el paso para este diseño.

Tabla3

Peso seco y volumen absoluto de los materiales constituyentes por metro cubico de concreto de resistencia de 28 MPa ó 4000 psi

MATERIAL	VOLUMEN (m3)	PESO (Kg/m3)
Aire	0,028	0
Agua	0,205	205
Cemento	0,120517343	379,62963
Agregado Grueso	0,336170982	840,42745
Agregado Fino	0,310311675	775,77919
Total	1	2200,8363

Fuente de los autores.

Tabla4

Peso seco y volumen de los materiales constituyentes para las bachadas.

Material constituyente	Peso del material (Kg/m3)	Volumen (m3)	Cantidad de material para las 36 vigas (Kg/m3)	Desperdicio	Cantidad de material para las 36 vigas + desperdicios (Kg)
Aire	0	0,028	0	10%	0,00
Agua	205	0,205	376,32	10%	413,95
Cemento	379,63	0,121	696,89	10%	766,57
Agregado Grueso	840,43	0,336	1542,77	10%	1697,05
Agregado Fino	775,78	0,310	1424,10	10%	1566,51

Fuente de los autores.

5. Proceso constructivo.

- **Preparación de la armadura.**

La armadura de cada una de las vigas se realizó por medio de una varilla de acero de 5/8 pulgada (1,58 cm) ubicada en la parte inferior de la viga, con una longitud de 215 cm. En la parte superior se ubicaron cuatro varillas de ¼ pulgada (0.64 cm) con una longitud de 90 cm en cada viga, con los estribos se unió la varilla inferior con las superiores, con 10 cm de separación entre estribos, dando más resistencia a la viga.

Para garantizar la longitud de desarrollo se empleó una tubería de PVC como la mostrada en la figura 9 y 10, con un diámetro de ¾ pulgada de 57, 72 y 86 cm insertando la varilla de acero dejando en cada extremo 5 cm, teniendo en cuenta que varía la longitud de la tubería en cada bachada.



Figura 9 *Preparación de las armaduras*

Fuente de los autores.

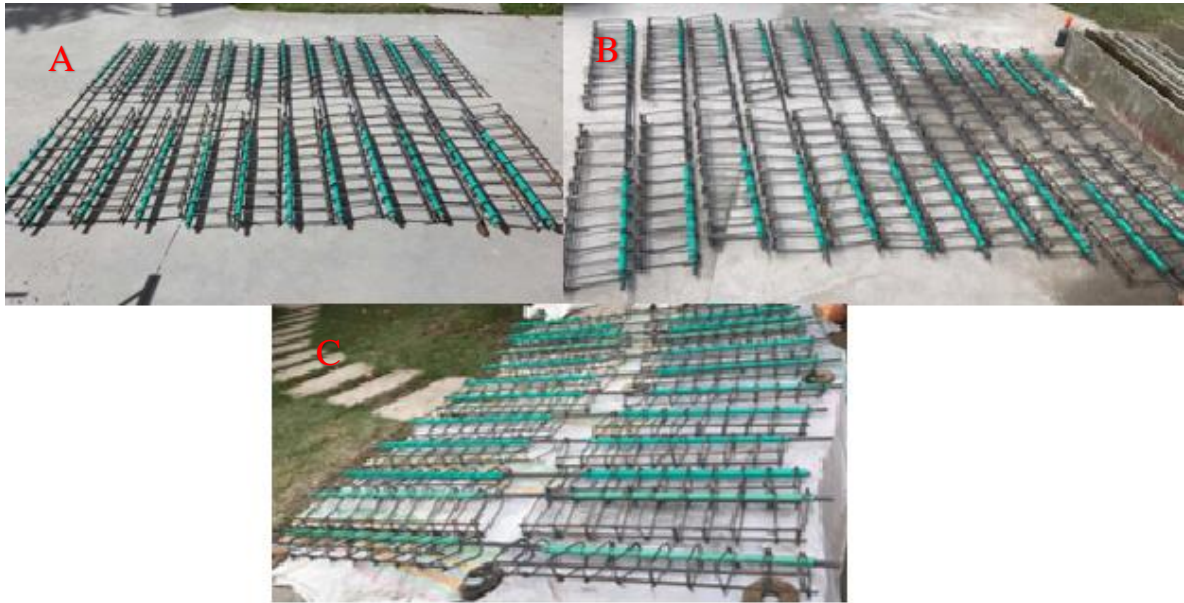


Figura 10 Armaduras A, B, y C con longitudes de acero 50, 75 y 25% respectivamente.

Fuente de los autores.

- **Preparación de la formaleta y moldes por bachada.**

Se armaron las formaletas con sus respectivos espacios para la colocación de la varilla de acero y las tuercas que sostenían la articulación. Todas las medidas están en cm, como se muestra en la figura 11, 12 y 13.

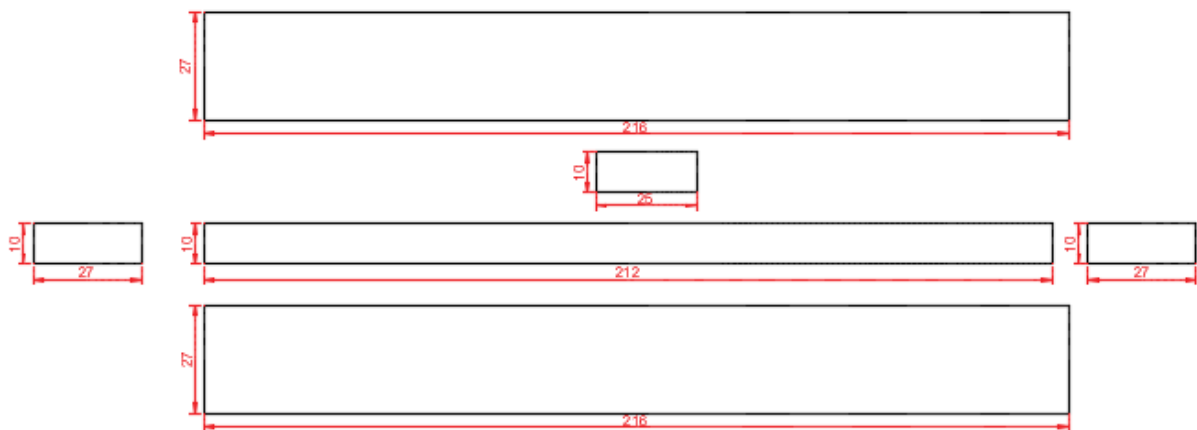


Figura 11 Medidas de la formaleta. Medidas en centímetros.

Fuente de los autores.

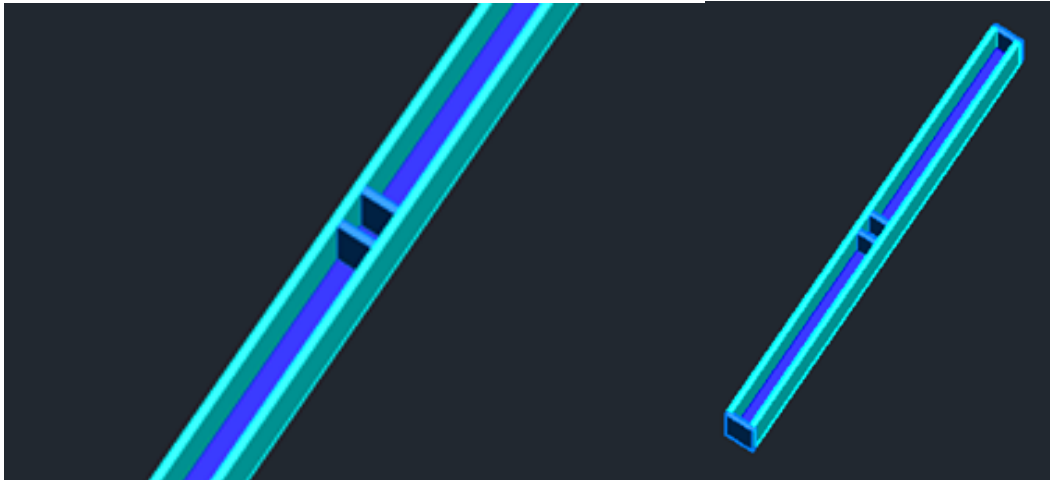


Figura 12 *formaletas*.

Fuente de los autores.



Figura 13 *Armado de formaletas*.

Fuente de los autores.

Una vez alistados los moldes se procedió a engrasar cada uno de ellos, esto con el fin de evitar que la mezcla se pegue a las paredes de la madera en el momento de desencofrar los especímenes, como se observa en la Figura 14.



Figura 14 *Engrasado de los moldes de cada uno de los especímenes.*

Fuente de los autores.

Terminada la armada de la formaleta y su respectivo engrase, se colocó la armadura como se muestra en la figura 15.



Figura 15 *Formaletas y armaduras.*

Fuente de los autores.

- **Mezcla de los materiales.**

Con los moldes y el material listo, se realizó la mezcla de los agregados finos y grueso en primera medida, para posteriormente agregar el cemento, el agua de mezclado y la fibra de acero, como se muestra en la Figura 16. El mezclado fue de dos formas: mezclado de tambor y mezclado a mano.



Figura 16 *Mezcla de los materiales para producir el concreto.*

Fuente de los autores.

- **Llenado de los moldes.**

Realizada la mezcla, se procedió al llenado o vaciado de cada uno de los moldes. Colocando de a tres capas por viga, cada una de estas se apisonó y vibró de manera mecánica y manual, y se utilizó como vibrador para los cilindros un chipote.

En las figuras 17 y 18 se muestra el llenado de los moldes y el acabado o terminado de las vigas, utilizando una llana con la que se enraso la mezcla.



Figura 17 *Llenado de los moldes de los especímenes.*

Fuente de los autores.



Figura 18 *Enrasado de los moldes de los especímenes.*

Fuente de los autores.

- **Almacenamiento de los especímenes en sus primeras 24 horas.**

Al terminar el llenado del concreto en los moldes, se colocaron por 24 horas sobre una superficie horizontal, como se muestra en la Figura 19, cubriendo la parte superior con un plástico para evitar la evaporación de la humedad.



Figura 19 *Almacenamiento de los especímenes de concreto.*

Fuente de los autores.

- **Proceso de desencofrado.**

Después de las 24 horas de almacenamiento, se procedió a realizar cuidadosamente el desencofrado, procediendo luego a trasladarlas a un lugar apto para el proceso de curado como se muestra en la Figura 20.

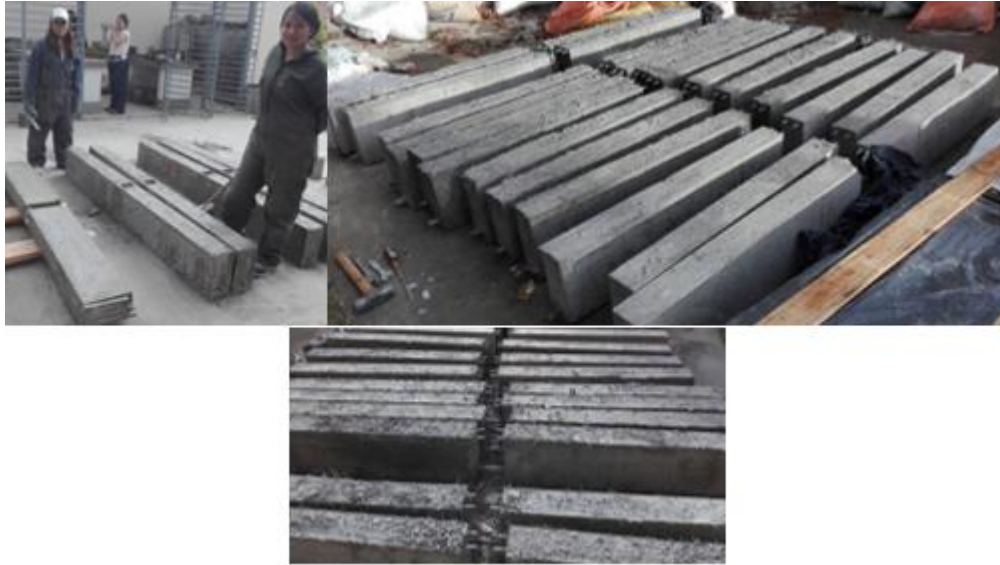


Figura 20 *Especímenes de concreto desencofrados.*

Fuente de los autores.

- **Proceso de curado**

Al terminar de desencofrar cada uno de los especímenes de concreto, se comenzó con el proceso de curado, en el cual se controló y mantuvo un contenido de humedad satisfactorio, además de conservar una temperatura favorable para el concreto, se envolvieron en sabanas y plástico por 28 días, como se muestra en la figura 21, rociándoles agua regularmente para así proporcionar un buen mecanismo de curado del concreto.



Figura 21 *Proceso de curado de los especímenes de concreto.*

Fuente de los autores.

Una vez terminado el proceso de elaboración de los especímenes de concreto adicionados con las fibras de acero, se esperó el tiempo de curado (28 días) y posteriormente se realizaron los correspondientes ensayos, en la maquina universal y el marco de carga.

Es de aclarar que el proceso detallado anteriormente, se repitió para cada una de las bachadas, ya que la metodología era la misma y se estandarizaron los parámetros de producción, con el fin de controlar las variables ya involucradas.

6. Ensayos de laboratorio

Para este trabajo se hicieron 36 vigas, que se fallaron someténdolas a flexión en el marco de carga para obtener datos de esfuerzo vs deformación y 36 cilindros que se fallaron a compresión en la maquina universal para obtener los datos de resistencia del concreto.

6.1 Ensayo de la resistencia especificada a la compresión

La resistencia a la compresión se mide por medio de una carga axial ejercida por la máquina universal sobre la probeta cilíndrica de concreto, en tanto el esfuerzo a la compresión se calcula a partir de la carga de rotura en la probeta transversal y se reporta en Megapascuales (MPa) y en unidades del SI. Se realizaron 3 especímenes por bachada de la mezcla, para así obtener 36 cilindros.

“Para estimar la resistencia del concreto in situ, la norma ASTM C31 formula procedimientos para las pruebas de curado en campo. Las probetas cilíndricas se someten a ensayo de acuerdo con la especificación ASTM C39, “Método estándar de prueba de resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto” (ASTM American Society of Testing Materials)

6.2 Montaje del Ensayo (resistencia especificada a la compresión y tracción).

Los ensayos a compresión simple y tracción indirecta de los cilindros se realizaron en la máquina universal, que se encuentra en el laboratorio de estructuras de la Universidad de La Salle. Como se muestra en la figura 22.



Figura 22 *Montaje del ensayo de resistencia.*

Fuente de los autores.

6.3 Ensayo de la resistencia a flexión.

Para estos ensayos se utilizó el marco de carga mostrado en la figura 23, que se encuentra en el laboratorio de estructuras de la Universidad de La Salle, apoyando los ensayos en un gato hidráulico (POWER TEAM C2510C de 25 toneladas) cuya función es la transmisión de la carga a un perfil metálico lo suficientemente rígido para poder distribuir la carga de manera uniforme.



Figura 23 *Maquina de carga.*

Fuente de los autores.

6.4 Montaje del Ensayo (resistencia a flexión).

El montaje se realizó con la viga colocada en el centro del marco de carga con el objetivo de que la carga se distribuyera con la misma magnitud hacia los dos apoyos de primer grado, los cuales consistieron en dos soportes metálicos formados por una platina cuadrada y una barra, que permitió simular condiciones de soporte, además de admitir el giro necesario para el ensayo. Debajo de ellos se ubicaron dos perfiles de acero con la función de levantar la viga y permitirle el espacio suficiente para que se flectara. Estos armazones estaban ubicados a una distancia de 5 cm, ver figura 24.



Figura 24 *Apoyos de primer grado.*

Fuente de los autores.

Como se muestra en la figura 25, los deformímetros 1 y 2 midieron el deslizamiento de la barra, el 3 y 4 midieron el desplazamiento de la viga hacia los extremos conforme se iba deflectando y por último el deformímetro 5 midió la distancia que la viga se flectó conforme se iba aplicando carga.

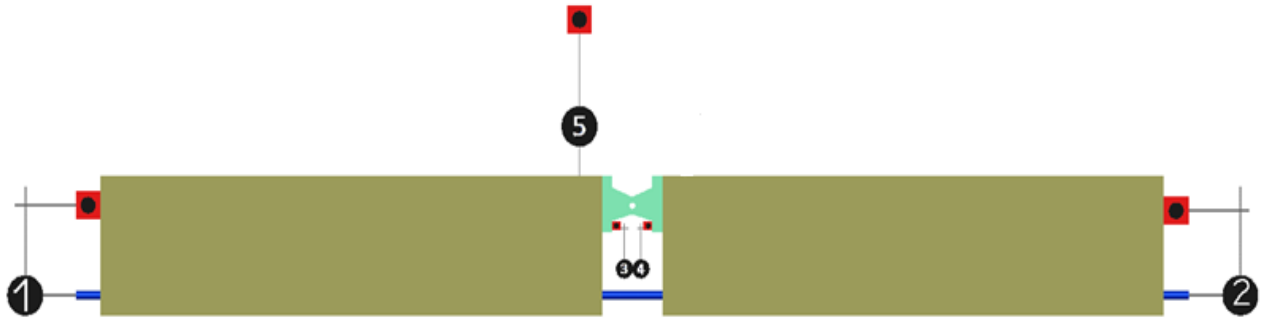


Figura 25 *Ubicación de los deformímetros.*

Fuente de los autores

En la parte superior de la viga se colocó un perfil metálico que transmitiera la carga hacia la viga, allí igualmente se colocaron apoyos de primer grado, como se observa en la figura 26, esto para garantizar que la aplicación de carga se localizara en la parte donde trabajaba el acero.



Figura 26 *Marco de carga con la viga.*

Fuente de los autores

Con respecto a las deformaciones, para cada ensayo fueron necesarios 5 deformímetros, uno en cada extremo de la barra N°5, esto se logró colocando unas platinas de donde se sostuvieron los deformímetros sin alterar las mediciones, uno debajo del perfil metálico y dos en la parte inferior de la articulación, los cuales registraron la deflexión en la viga, y la apertura en el centro, respectivamente, como se muestra en las figuras 27 y 28.



Figura 27 *Deformímetros en los extremos de la viga.*

Fuente de los autores

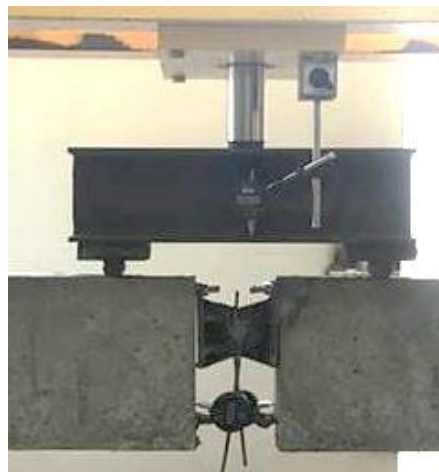


Figura 28 *Deformímetros en el centro de la viga.*

Fuente de los autores

6.5 Adquisición de datos.

Con el fin de determinar la deformación unitaria producida por el esfuerzo a flexión en la viga y por ende en la barra de acero, se utilizaron Strain Gages, que son sensores que miden distintos tipos de excitaciones como deformación, carga, presión, posición, par, etc. Esta propiedad de los Strain Gages se da gracias al efecto piezo resistivo que estos poseen, que, aplicado al presente trabajo significa que el valor de la resistencia del sensor varió conforme la barra de acero se iba deformando, en la figura 29 y 30 se muestran las características de los Strain Gages utilizados.



Figura 29 Galga extensométrica metálica.

Fuente de los autores



Figura 30 Características de la Galga.

Fuente de los autores

Dado que los Strain Gages proyectan valores demasiados pequeños, fue necesario utilizar equipos como los mostrados en las figuras 31 y 32, que amplificaron la señal de los sensores. Uno de ellos fue el NI cDAQ-9174 prestado por el laboratorio de automatización de la Universidad de la Salle, el cual es un sistema pequeño y portátil de pruebas de medidas mixtas, además del módulo de galgas extensiométricas NI 9237 de la Serie C proporcionado por el laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad, los cuales contienen todo el acondicionamiento de señales necesarias para alimentar y medir simultáneamente hasta cuatro sensores basados en puentes de circuitos eléctricos. El módulo proporciona medidas de deformación sin desfase entre canales.



Figura 31 Chasis NI cDAQ-9174.

Fuente de los autores



Figura 32 *Galgas NI 9237.*

Fuente de los autores

Se utilizó el programa STRAIN_SF diseñado por los estudiantes Fuentes Alfonso y Sierra Andrés. Tal como se observa en la figura 33, este programa tiene un lenguaje de programación visual gráfico haciendo uso de la plataforma LabVIEW, el cual permite ver en tiempo real las deformaciones unitarias debidas a una excitación en la galga.

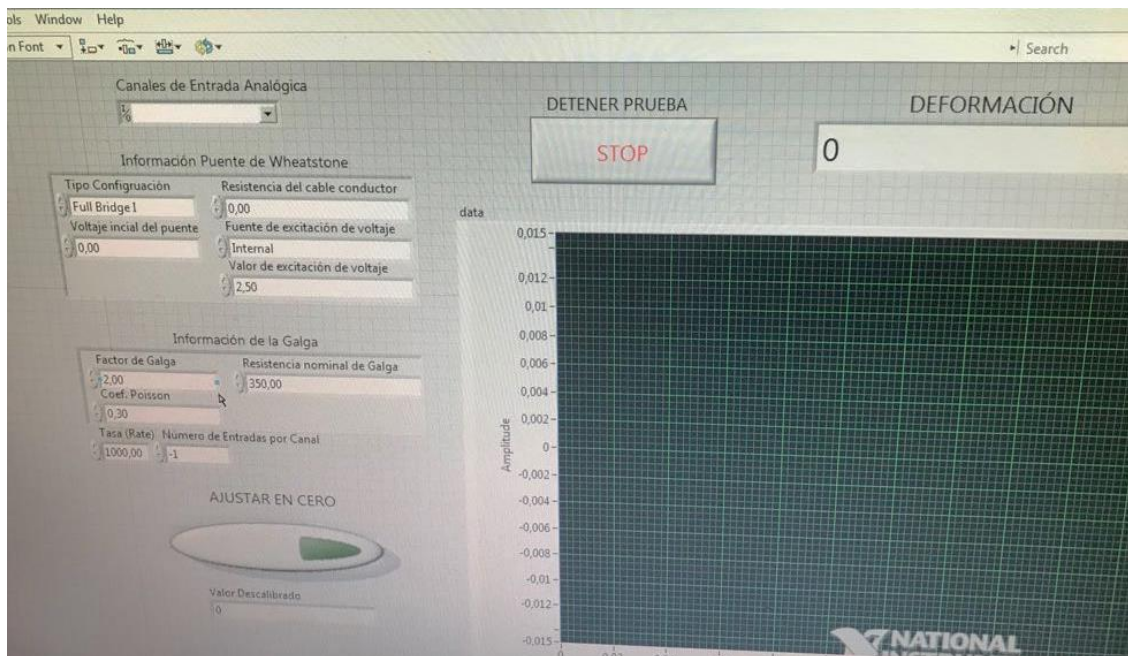


Figura 33 *Programa STRAIN_SF.*

Fuente de los autores

Como se muestra en la figura 34, el programa permite insertar varios valores tales como: Tipo de configuración del puente, voltaje inicial del puente, valor de excitación de voltaje, el canal de entrada analógica de la tarjeta NI 9237 que se desea utilizar y información de la Galga, como: factor de galga, resistencia nominal de la galga, coeficiente de poisson.

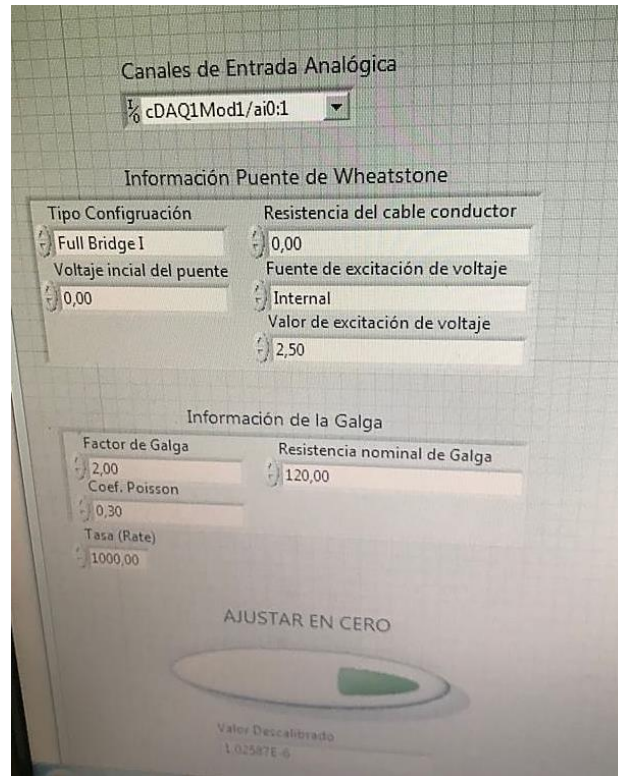


Figura 34 Configuración de valores iniciales de STRAIN_SF

Fuente de los autores

El programa se diseñó para escoger entre diferentes diagramas de conexión o configuraciones de puente. Para el presente ensayo se utilizó Quarter Bridge II que permite hacer medición de una sola galga como se muestra en la figura 35.

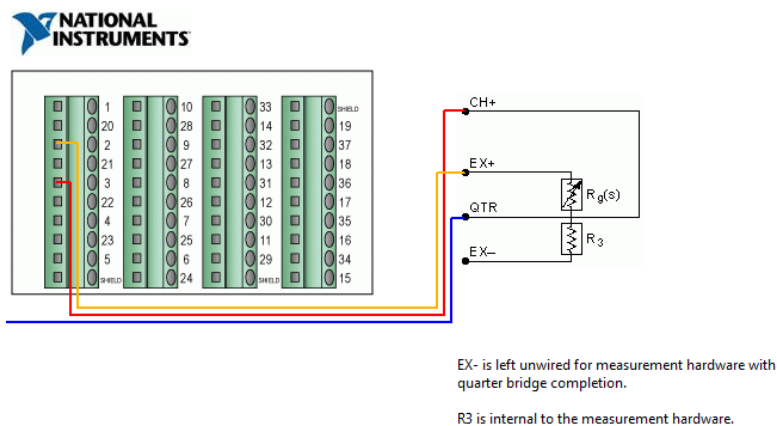


Figura 35 Configuración del cableado en cuarto de puente

Recuperado del programa NI-DAQmx.

Finalmente se hizo el montaje mostrado en la figura 36, conectando todos los dispositivos nombrados anteriormente, procediendo a calibrar los Strain Gages que se encontraban localizados en la mitad de la barrilla N5, en el espacio libre bajo la articulación como se observa en la figura 37. Estos ensayos se efectuaron a 4 vigas, la A0.0-2, A0.0-3, A1.0-2 y el A2.0-2.

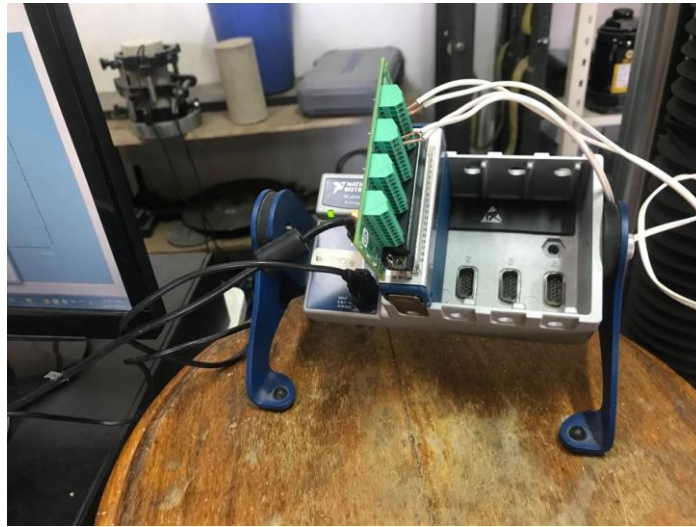


Figura 36 *Montaje del chasis.*

Fuente de los autores



Figura 37 *Montaje en la varilla.*

Fuente de los autores

7. Resultados.

7.1 Resistencia especificada a la compresión

Como se mencionó anteriormente se produjeron 36 cilindros, 3 por bachada; fallándolos en la maquina universal. A continuación, se muestran los resultados. Teniendo en cuenta que M1, M2 y M3 corresponden a la mezcla producida para las vigas con el 50, 75 y 25% de longitud de desarrollo respectivamente y junto se muestra el porcentaje de fibra que contiene y el número de espécimen.

Tabla5
Resistencia especificada a la compresión.

Mezcla y porcentaje de fibra	Resistencia a la compresión (Mpa)	Promedio por mezcla y porcentaje de fibra
M1-0%-1	24,38	
M1-0%-2	28,35	25,18
M1-0%-3	22,8	
M1-1%-1	18,53	
M1-1%-2	16,67	18,35
M1-1%-3	19,85	
M1-1.5%-1	17,68	
M1-1.5%-2	7,53	13,31
M1-1.5%-3	14,73	
M1-2%-1	16,66	
M1-2%-2	14,48	16,38
M1-2%-3	18	
M2-0%-1	22,29	
M2-0%-2	22,11	23,61
M2-0%-3	26,43	
M2-1%-1	23,11	
M2-1%-2	25,29	23,02
M2-1%-3	20,65	
M2-1.5%-1	25,2	
M2-1.5%-2	26,1	25,46
M2-1.5%-3	25,07	
M2-2%-1	17,83	
M2-2%-2	16,34	17,61
M2-2%-3	18,66	
M3-0%-1	21,59	
M3-0%-2	23,75	22,67
M3-1%-1	19,39	
M3-1%-2	18,51	18,95
M3-1.5%-1	9,07	
M3-1.5%-2	10,2	9,64
M3-2%-1	17,49	
M3-2%-2	17,04	15,25
M3-2%-3	11,23	

Fuente de los autores.



Figura 38 *Ensayo de resistencia a la compresión.*

Fuente de los autores



Figura 39 *Ensayo de resistencia a la compresión.*

Fuente de los autores

7.2 Resistencia a la tracción

Uno de los cilindros se destinó a la prueba de tracción indirecta para conocer la resistencia del concreto, este tenía un contenido de fibras de 1.5% del volumen del mismo; el ensayo mostro una resistencia de 9.52 MPa.



Figura 40 *Ensayo de resistencia a la tracción*

Fuente de los autores



Figura 41 *Ensayo de resistencia a la tracción*

Fuente de los autores

Como se observa en las figuras 40 y 41 las fibras que contiene la matriz de concreto no permitieron que el cilindro se dividiera en dos, como generalmente ocurre en este ensayo, con concretos normales sin este tipo de aditivos.

7.3 Nomenclatura de los especímenes.

Dado que se realizaron gran cantidad de vigas y para mayor facilidad, se decidió nombrarlas de modo que las letras A, B y C correspondieran con las longitudes de desarrollo 75%, 50% y 25% respectivamente, seguido el porcentaje de fibras de acero que contiene y por último el número de espécimen 1, 2 o 3; por ejemplo, la viga A0.0-3 es la que posee una longitud de desarrollo reducida al 75%, con 0% de fibras y es la viga número 3 que se produjo con esta configuración, tal como se muestra en la tabla 6.

Tabla6
Nomenclaturas de las vigas.

Long. Desarrollo	Porcentajes de fibra											
	0			1.0			1.5			2.0		
A 25	A00-1	A00-2	A00-3	A1.0-1	A1.0-2	A1.0-3	A1.5-1	A1.5-2	A1.5-3	A2.0-1	A2.0-2	A2.0-3
B 50	B00-1	B00-2	B00-3	B1.0-1	B1.0-2	B1.0-3	B1.5-1	B1.5-2	B1.5-3	B2.0-1	B2.0-2	B2.0-3
C 75	C00-1	C00-2	C00-3	C1.0-1	C1.0-2	C1.0-3	C1.5-1	C1.5-2	C1.5-3	C2.0-1	C2.0-2	C2.0-3

Fuente de los autores.

7.4 Falla a flexión

Como se dijo anteriormente se fallaron las vigas por medio del marco de carga de la Universidad de la Salle, para este procedimiento se requirió de 5 deformímetros los cuales estuvieron ubicados en los puntos mostrados en la figura 25.

Cabe destacar que los deformímetros tenían un recorrido máximo de 13,64 mm; para evaluar los datos arrojados por estas mediciones, se debió grabar por medio de cámaras cada uno de los deformímetros desde el momento en que se empezó a aplicar carga hasta que se detuvo la aplicación, luego se consignó la información en los formatos que se muestran a continuación para su posterior análisis.

A continuación, se muestran los resultados de las vigas A0.0-2, B1.5-1 y C2.0-3, los resultados de las demás vigas se encuentran en el Anexo 8 al 18.

Tabla7
Resultados de la viga A0.0-2.

CARGA							DEFORMIMETROS					Descripcion	M (momento) (distancia m=15 cm)
Digital		$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 3$	$\Delta 4$	$\Delta 5$							
42	0	0	0,03	0	0	0						0	
62	0,1	0	0,03	0	0	0,03						0,75	
82	0,11	0	0,03	0,14	0	1,34						0,825	
102	0,2	0	0,03	0,27	0	2,22						1,5	
122	0,4	0	0,03	0,32	0	2,94						3	
148	0,7	0	0,03	0,34	0	3,27						5,25	
161	0,75	0	0,03	0,34	0	3,57						5,625	
187	0,8	0	0,03	0,34	0	3,78						6	
210	0,85	0	0,03	0,34	0	4,27						6,375	
236	0,9	0	0,03	0,34	0	4,72						6,75	
272	0,96	0	0,03	0,34	0	5,5						7,2	
299	1	0	0,03	0,34	0	5,56						7,5	
340	1	0	0,03	0,36	0	6,46						7,5	
372	1,2	0	0,03	0,39	0	7,26						9	
398	1,2	0,02	0,03	0,42	0	7,38						9	
402	1,25	0,02	0,03	0,42	0	7,39						9,375	
396	1,5	0,02	0,03	0,42	0	7,4						11,25	
394	1,6	0,02	0,03	0,43	0	7,41						12	
399	1,6	0,02	0,03	0,47	0	7,53						12	
392	1,6	0,02	0,03	0,51	0	8,74						12	
390	1,6	0,02	0,03	0,51	0	8,53						12	
390	1,6	0,02	0,03	0,61	0	8,54						12	
398	1,6	0,02	0,03	0,61	0	9,46						12	
382	1,6	0,02	0,03	0,61	0	9,57						12	
395	1,65	0,02	0,03	0,61	0	9,66						12,375	
386	1,65	0,02	0,03	0,61	0	9,93						12,375	
389	1,65	0,02	0,03	0,61	0	9,94						12,375	
418	1,65	0,03	0,03	0,61	0	10,64						12,375	
512	1,65	0,03	0,03	0,61	0	10,84						12,375	
502	1,65	0,03	0,03	0,61	0	10,94						12,375	
556	1,65	0,03	0,03	0,61	0	11,07						12,375	
450	1,7	0,05	0,03		0							12,75	
456	1,75	0,04	0,05		0							13,125	
496	1,76	0,04	0,08		0							13,2	
478	1,76	0,04	0,11		0							13,2	
496	1,76	0,04	0,11		0							13,2	
528	1,76	0,04	0,11		0							13,2	
539	1,76	0,04	0,11		0							13,2	
560	1,76	0,04	0,12		0							13,2	
562	1,77	0,05	0,12		0							13,275	
554	1,79	0,05	0,12		0							13,425	
596	1,3	0,05	0,13		0							9,75	
580	1,25	0,05	0,13		0							9,375	
554	1	0,05	0,13		0							7,5	
430	1	0	0,13		0							7,5	
428	1	0	0,13		0							7,5	
426	1	0	0,15		0							7,5	

Fuente de los autores.

Tabla8
Abreviatura de la viga B1.5-1.

CARGA							DEFORMIMETROS					Descripcion	M (momento) (distancia m=30 cm)
digital		$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 3$	$\Delta 4$	$\Delta 5$							
	1	0	0	0	0	0					15		
	1,25	0	0	0	0	0					18,75		
	1,5	0	0	0	0	0					22,5		
	1,75	0	0	0	0	0					26,25		
	2	0	0	0	0	0					30		
	2,25	0	0	0	0,16	0					33,75		
	2,5	0	0	0,12	0,33	0,32					37,5		
	2,62	0	0	0,13	0,41	0,37					39,3		
	2,68	0	0	0,14	0,43	0,42					40,2		
112	2,75	0	0	0,21	0,47	0,74					41,25		
128	3	0	0	0,21	0,5	1,2					45		
160	3,06	0	0	0,31	0,5	1,34					45,9		
222	3,12	0	0	0,36	0,54	2,24					46,8		
254	3,18	0	0	0,35	0,55	2,69					47,7		
364	3,25	0	0	0,35	0,55	3,4					48,75		
430	3,31	0	0,01	0,35	0,55	4,31					49,65		
460	3,38	0	0,03	0,34	0,55	4,57					50,7		
506	3,4	-0,01	0,05	0,3	0,52	5,36					51		
540	3,3	-0,02	0,08	0,21	0,52	5,94					49,5		
602	3,25	-0,03	0,09	0,21	0,47	6,22					48,75		
676	3,25	-0,05	0,1	0,17	0,41	7,11					48,75		
730	3,25	-0,06	0,13	0,14	0,32	7,5					48,75		
732	3,25	-0,08	0,14	0,1	0,27	7,35					48,75		
772	3,25	-0,11	0,18	0,05	0,26	8,77					48,75		
822	3,25	-0,12	0,24	0,03	0,26	9,06					48,75		
806	3,25	-0,16	0,26	-0,12	0,25	9,66					48,75		
846	3,25	-0,17	0,37	-0,15	0,24	10,45					48,75		
862	3,25	-0,22	0,57	-0,21	0,23	10,89					48,75		
846	3,25	-0,23	0,68	-0,31	0,23	10,89					48,75		
876	3,25	-0,25	1,29	-0,33	0,22						48,75		
760	3,25	-0,26	1,91	-0,33	0,22						48,75		
760	3,25	-0,26	2,12	-0,33	0,22						48,75		
750	3,25	-0,26	2,16	-0,33	0,22						48,75		
710	3,25	-0,26	2,19	-0,33	0,22						48,75		
700	3,25	-0,26	2,28	-0,33	0,22						48,75		
692	3,25	-0,27	2,29	-0,33	0,22						48,75		
692	3,25	-0,27	2,29	-0,33	0,22						48,75		
692	3,24	-0,27	2,3	-0,33	0,22						48,6		
690	3,21	-0,28	2,36	-0,33	0,21						48,15		
766	3,18	-0,28	2,77	-0,33	0,21						47,7		
738	3,15	-0,28	3,13	-0,33	0,19						47,25		

fecha: 16 - nov 11:00am

viga: B1.5 - 1

Long. Desarrollo	Porcentajes de fibra			
	0	1.0	1.5	2.0
A 25	A00-1	A1.0-1	A1.5-1	A2.0-1
B 50	B00-1	B1.0-1	B1.5-1	B2.0-1
C 75	C00-1	C1.0-1	C1.5-1	C2.0-1

759	3,12	-0,28	3,31	-0,33	0,19		46,8
738	3,09	-0,28	3,72	-0,33	0,19		46,35
764	3,06	-0,28	4,04	-0,33	0,18		45,9
732	3,03	-0,28	4,61	-0,33	0,17		45,45
674	3	-0,28	4,92	-0,33	0,17		45
672	2,87	-0,28	5,36	-0,33	0,16		43,05
616	2,75	-0,27	6,08	-0,33	0,16		41,25
590	2,62	-0,27	6,87	-0,33	0,16		39,3
568	2,5	-0,27	7,32	-0,33	0,16		37,5
568	2,5	-0,27	7,72	-0,33	0,15		37,5
544	2,47	-0,26	8,5	-0,33	0,15		37,05
506	2,43	-0,26	8,65	-0,32	0,14		36,45
512	2,41	-0,26	9,47	-0,31	0,14		36,15
498	2,39	-0,26	9,75	-0,3	0,14		35,85
500	2,37	-0,26	10,38	-0,3	0,14		35,55
470	2,35	-0,27	10,67	-0,29	0,13		35,25
462	2,31	-0,27	11,65	-0,28	0,13		34,65
480	2,27	-0,26	12,01	-0,28	0,13		34,05
460	2,25	-0,26	12,19	-0,27	0,13		33,75
472	2,21	-0,26	12,19	-0,27	0,12		33,15
448	2,18	-0,26	12,19	-0,27	0,11		32,7
428	2,15	-0,26	12,19	-0,27	0,11		32,25
434	2,12	-0,26	12,19	-0,27	0,11		31,8
430	2,09	-0,26	12,19	-0,26	0,11		31,35
422	2,06	-0,25		-0,24	0,11		30,9
392	2,94	-0,25		-0,24	0,11		44,1
402	2,02	-0,25		-0,24	0,11		30,3
398	2	-0,25		-0,24	0,11		30
372	1,96	-0,24		-0,23	0,1		29,4
366	1,93	-0,24		-0,23	0,1		28,95
372	1,91	-0,22		-0,22	0,1		28,65
366	1,89	-0,22		-0,22	0,1		28,35
350	1,87	-0,22		-0,22	0,1		28,05
344	1,85	-0,22		-0,22	0,1		27,75
352	1,83	-0,21		-0,22	0,1		27,45
342	1,81	-0,21		-0,22	0,09		27,15
330	1,8	-0,21		-0,22	0,09		27
320	1,78	-0,21		-0,22	0,08		26,7
326	1,75	-0,21		-0,21	0,08		26,25
312	1,75	-0,21		-0,21	0,08		26,25
320	1,75	-0,21		-0,21	0,08		26,25
306	1,75	-0,21		-0,21	0,08		26,25
300	1,75	-0,21					26,25
308	1,75	-0,21					26,25

Fuente de los autores.

Tabla 9
Resultados de la viga C2.0-3.

CARGA		DEFORMIMETROS					Descripcion	M (momento) (distancia m=45cm)
Digital		$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 3$	$\Delta 4$	$\Delta 5$		
44	0	0,04	0	0		0	0	
44	0	0,04	0	0	0	0	0	
64	0	0,04	0	0	0,1	0	0	
82	0	0,04	0	0	0,1	0	0	
88	0	0,04	0	0	0,1	0	0	
90	0	0,04	0	0	0,1	0,05	0	
110	0	0,04	0	0	0,1	0,4	0	
124	0	0,04	0	0	0,29	0,59	0	
130	0	0,04	0	0	0,46	0,7	0	
164	0	0,02	0,01	0	0,57	1,05	0	
192	0	0	0,01	0	0,66	1,24	0	
200	0	0,01	0,01	0	0,66	1,31	0	
223	0	0,03	0,01	0	0,77	1,32	0	
242	0	0,21	0,01	0	0,9	1,84	0	
254	0	0,33	0,01	0	0,9	2,17	0	
274	0	0,51	0,01	0,03	0,94	2,54	0	
297	1	0,69	0,02	0,04	1,11	2,83	22,5	
300	1,08	0,83	0,03	0,07	1,12	3,54	24,3	
315	1,16	1,05	0,03	0,15	1,21	4,25	26,1	
334	1,25	1,15	0,03	0,19	1,3	4,56	28,125	
352	1,3	1,42	0,07	0,24	1,34	5,54	29,25	
362	1,34	1,58	0,07	0,3	1,34	5,74	30,15	
368	1,38	1,89	0,11	0,37	1,34	6,17	31,05	
367	1,42	2,1	0,12	0,41	1,43	6,9	31,95	
352	1,46	2,5	0,15	0,53	1,5	7,21	32,85	
364	1,5	2,8	0,16	0,54	1,54	8,29	33,75	
370	1,5	3,09	0,17	0,58	1,61	9,54	33,75	
360	1,51	3,15	0,18	0,65	1,63	10,45	33,975	
370	1,51	3,78	0,19	0,74	1,7	10,47	33,975	
356	1,52	3,92	0,19	0,75	1,74		34,2	
334	1,53	4,43	0,2	0,81	1,74		34,425	
334	1,53	4,75	0,21	0,84	1,76		34,425	
334	1,54	4,93	0,21	0,88	1,79		34,65	
334	1,54	5,07	0,21	0,88	1,8		34,65	

334	1,55	5,55	0,21	0,88	1,8		34,875
334	1,55	5,72	0,21	0,93	1,8		34,875
334	1,56	6,11	0,22	0,93	1,81		35,1
334	1,57	6,31	0,22	0,97	1,81		35,325
334	1,58	6,61	0,22	0,97	1,81		35,55
334	1,58	6,97	0,22	0,97	1,81		35,55
334	1,59	7,19	0,22	0,97	1,81		35,775
334	1,59	7,44	0,22	1,04	1,81		35,775
334	1,6	7,79	0,23	1,09	1,81		36
334	1,6	8,12	0,23	1,09	1,81		36
350	1,61	8,4	0,23	1,09	1,82		36,225
348	1,62	9,04	0,23	1,1	1,82		36,45
342	1,63	9,53	0,23	1,1	1,83		36,675
352	1,64	9,7	0,23	1,1	1,84		36,9
362	1,64	9,8	0,23	1,1	1,84		36,9
350	1,65	10,26	0,24	1,1	1,84		37,125
342	1,65	10,38	0,24	1,1	1,85		37,125
332	1,66	10,87	0,24	1,1	1,85		37,35
340	1,66	11,08	0,24	1,1	1,86		37,35
346	1,67	11,41	0,24	1,1	1,87		37,575
356	1,67	11,43	0,24	1,1	1,87		37,575
342	1,68	11,45	0,24	1,1	1,87		37,8
340	1,68	11,46	0,24	1,1	1,88		37,8
345	1,69			1,1	1,88		38,025
342	1,7			1,1	1,89		38,25
352	1,7			1,1	1,89		38,25
340	1,71			1,1	1,89		38,475
334	1,71			1,1	1,89		38,475
336	1,72			1,11	1,89		38,7
342	1,73			1,11	1,9		38,925
342	1,73			1,11	1,9		38,925
330	1,73			1,11	1,9		38,925
354	1,74			1,11	1,9		39,15
330	1,74			1,11	1,9		39,15
342	1,75			1,11	1,9		39,375
	1,75			1,11	1,9		39,375
	1,75			1,11	1,9		39,375
	1,75			1,12	1,9		39,375
	1,74			1,12	1,9		39,15

Fuente de los autores.

7.5 Fallas típicas de las vigas

A continuación, se muestra 3 vigas que representan las fallas más comunes de acuerdo con su configuración, allí se muestra la distancia desde la articulación hasta la fisura generada por las cargas aplicadas.

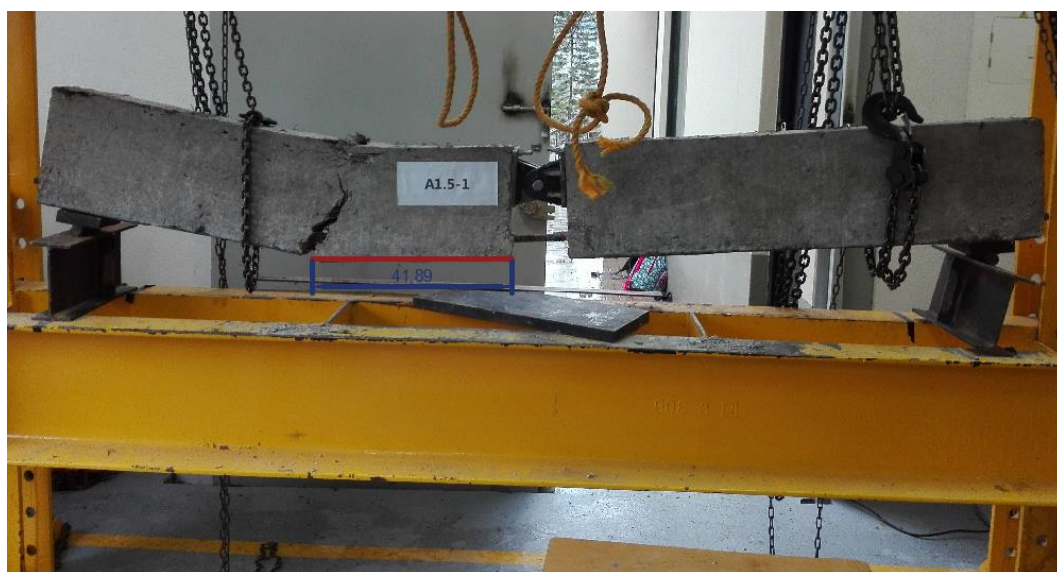


Figura 42 Configuración A1.5 / fisura a 41.89 cms.

Fuente de los autores



Figura 43 Configuración B2.0 / fisura a 27.04 cms.

Fuente de los autores



Figura 44 Configuración C1.0 / fisura a 11.81 cms.

Fuente de los autores

Tabla10
Promedio de las distancias desde la articulación hasta la ruptura.

promedio de la longitud en cm	porcentaje de fibra
23,82	0,0
20,11	1,0
16,14	1,5
16,42	2,0

Fuente de los autores

8. Análisis de Resultados

8.1 Módulo de elasticidad de los cilindros.

Se obtuvo el módulo de elasticidad por medio de los resultados de los cilindros, tal como se muestra en los anexos 3, 4, 5, 6 y 7.

Se graficaron los valores de las resistencias por cada mezcla y bachada, tal como se muestra en la figura 45, allí se puede apreciar las tres mezclas de cada porcentaje de fibra mostrando valores muy parecidos. En la tabla 13 se muestra el promedio de la resistencia por mezcla de los cilindros.

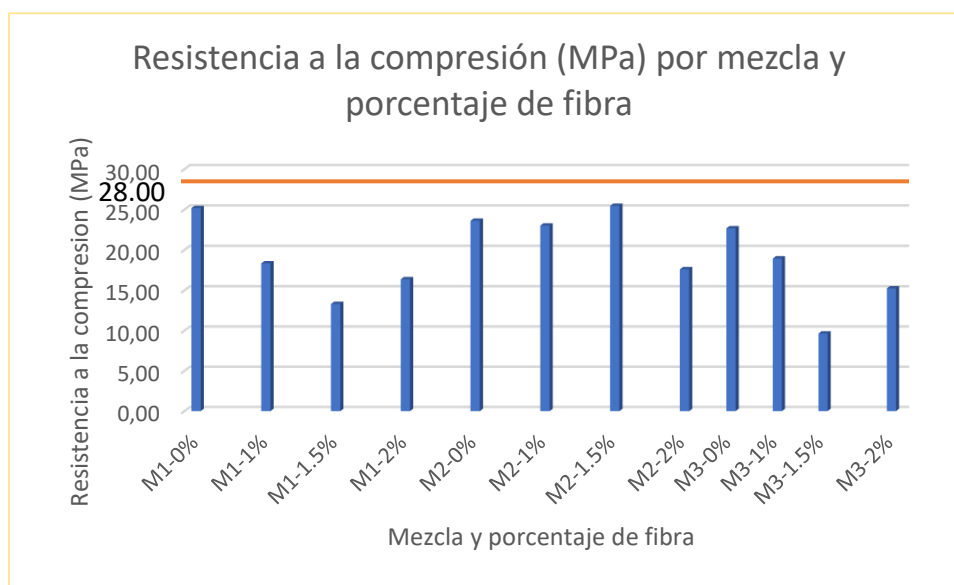


Figura 45 *Resistencia a la compresión por mezcla.*

Fuente de los autores

Se puede observar que las mezclas presentan una dispersión muy alta por factores como el tipo de mezclado, la compactación, la dispersión en las fibras de acero presentes en la matriz del concreto y acabado de la superficie del concreto ya que esta puede influir en el contacto que se da entre la maquina universal y el cilindro.

Debido a que los cilindros fueron curados del mismo modo que las vigas, es decir, cubiertos con un plástico que le permitiera conservar la humedad la resistencia no llegó al valor ideal de 28 MPa ya que este curado no se hizo de manera convencional sumergiéndola totalmente en agua.

Para calcular el módulo de elasticidad se escogió la ecuación presentada en la sección 8.5.1 de la NSR-10 $E_c = W_c^{1.5} 0.043 \sqrt{f_c}$, que abarca rangos entre 1440 y 2560 Kg/m³ ya que el peso unitario del concreto es de 2176 Kg/m³. Con esta fórmula, el módulo de elasticidad es de 21302 MPa para una dosificación del 0,0% de fibras de acero, de 19571 MPa para 1,0%, 18050 MPa para 1,5% y de 17682 MPa para 2,0%.

8.2 Carga máxima

Las cargas máximas de las vigas están directamente relacionadas con la fibra de acero que contenía cada una, a continuación, se presenta en las tablas 11 y 12, la figura 46, un resumen de estas, en donde el primer valor es el arrojado por el tablero digital y el segundo es el visualizado en el tablero análogo que se encontraba arriba del marco, cabe destacar que para efectos de cálculo se utilizó la segunda medida de carga, ya que la primera tiene pérdidas notables por la transmisión de la manguera que conecta los dos tableros.

Tabla 11
Cargas máximas para cada viga valores en MPa carga digital.

Long. Desarrollo	Porcentajes de fibra															
	0			1.0			1.5			2.0						
A 25	A00-1	0	596	586	A1.0-1	0	384	740	A1.5-1	806	708	0	A2.0-1	876	1304	770
B 50	B00-1	0	426	500	B1.0-1	588	556	626	B1.5-1	308	574	588	B2.0-1	644	0	628
C 75	C00-1	274	340	354	C1.0-1	272	580	182	C1.5-1	290	268	356	C2.0-1	408	518	370

Fuente de los autores

Tabla12
Cargas máximas para cada viga valores en Toneladas carga análoga.

Long. Desarrollo	Porcentajes de fibra																
	0			1.0			1.5			2.0							
A	25	A00-1	0	1.79	2	A1.0-1	0	1.7	2.95	A1.5-1	3.2	2.8	0	A2.0-1	0	4.5	3
B	50	B00-1	0	1.75	2.01	B1.0-1	2.47	0	2.5	B1.5-1	3.4	2.3	2.16	B2.0-1	3	2.25	2.6
C	75	C00-1	1.3	1.5	1.75	C1.0-1	1.34	2.37	1.6	C1.5-1	1.18	1.4	1.68	C2.0-1	1.75	3	1.75

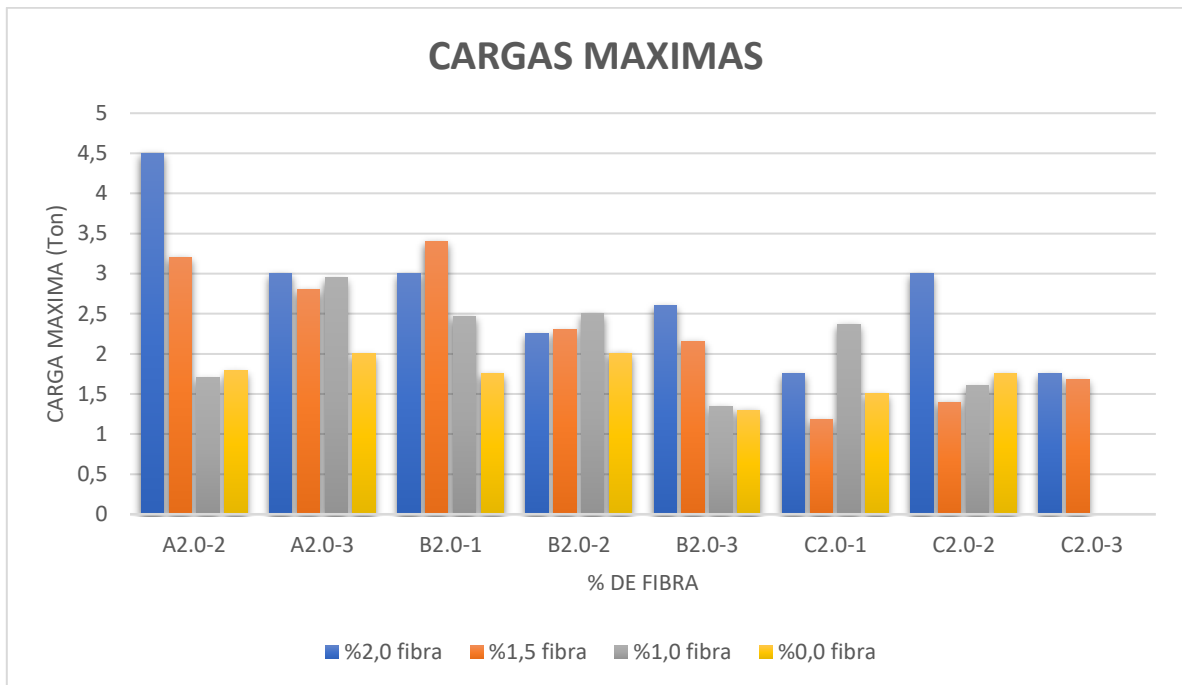


Figura 46 Carga máxima

Fuente de los autores

Se observa que la resistencia de las vigas de 0% de fibras es más baja en comparación a las demás, debido a que la usencia de fibras hace que disminuya su resistencia a flexión, ya que el concreto no trabaja a tracción y la parte inferior de la viga, la cual está sometida a esta fuerza no tenía un elemento que mejorara su resistencia al contrario que las demás vigas. En la tabla 13 se presenta el promedio de carga máxima por configuración, además el aumento en porcentaje de las vigas con el 2% de fibras de acero respecto a las que contenían el 0%.

Tabla 13
Aumento de carga proporcional al aumento de fibras de acero.

0	Porcentajes de fibra						Porcentaje que aumento	Longitud de desarrollo
	Promedio de carga maxima							
	% de aumento	1	% de aumento	1.5	% de aumento	2		
1.90	100	2.33	123	3	158	3.75	198	75%
1.88	100	2.49	132	2.62	139	2.62	139	50%
1.52	100	1.77	117	1.85	122	2.17	143	25%

Fuente de los autores

8.3 Momentos máximos

Se obtuvieron los momentos máximos de cada viga y para ello se dividió la carga entre dos, multiplicado por la distancia de la fisura, que en este caso fue la distancia de la longitud de desarrollo. En la tabla 14 y figura 47 se relacionan los momentos máximos que se obtuvieron en cada viga.

Tabla 14
Momentos máximos para cada viga.

Long.	Desarrollo	Porcentajes de fibra															
		0				1.0				1.5				2.0			
A	25	A00-1	0	13,4	15	A1.0-1	0	12,8	22,1	A1.5-1	24	21	0	A2.0-1	0	33,8	22,5
B	50	B00-1	0	26,3	30,2	B1.0-1	37,1	0	37,5	B1.5-1	51	35	32	B2.0-1	45	33,8	39
C	75	C00-1	29,3	33,8	39,4	C1.0-1	30,2	53,3	36	C1.5-1	26,6	32	38	C2.0-1	39,4	67,5	39,4

Fuente de los autores

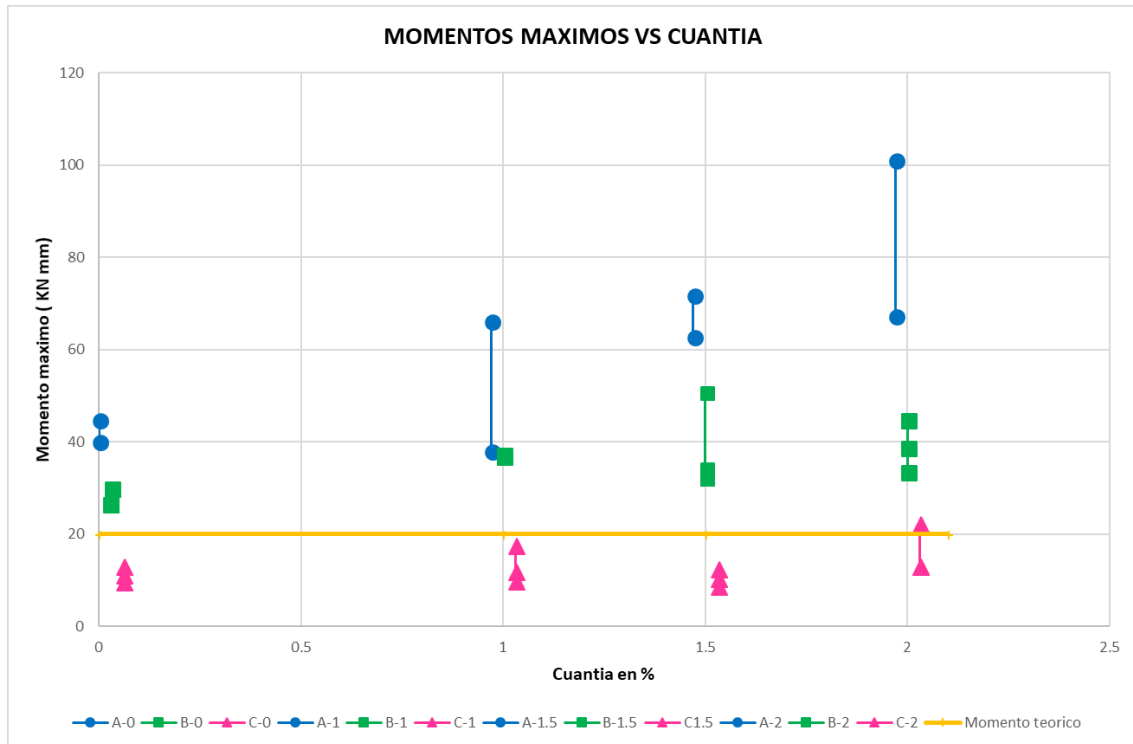


Figura 47 *Momentos máximos vs cuantía*

Fuente de los autores

También se muestra en la figura 47 el momento máximo calculado en la ecuación 7 del anexo 2 el cual es de 20 KN m, este cálculo no tiene en cuenta la resistencia que le aporta las fibras de acero a la matriz del concreto, se evidencia que en la mayoría de las vigas el momento que obtuvo fue mayor al teórico.

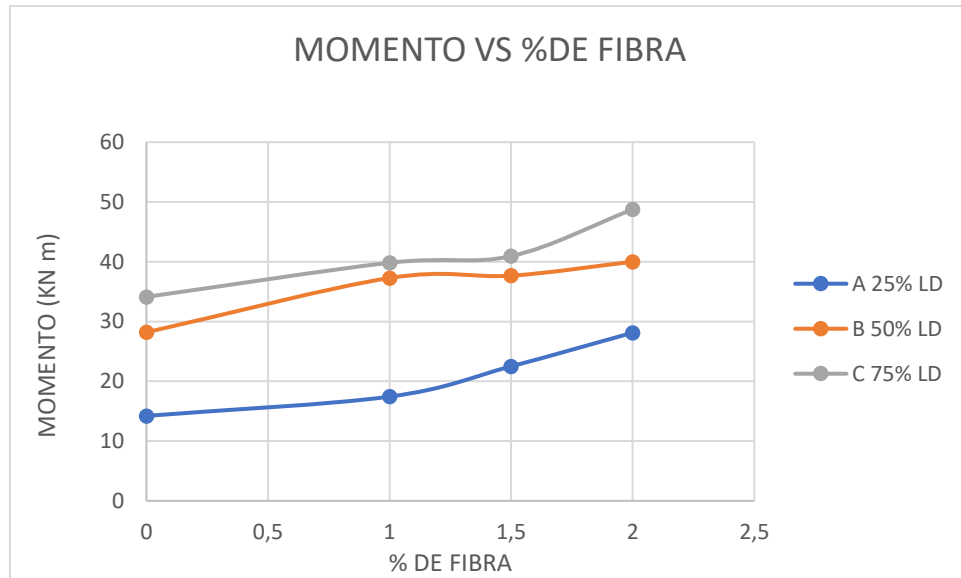


Figura 48 *Momento vs % de fibra*

Fuente de los autores

Se analiza que las vigas con mayor momento son las que corresponden a una longitud de desarrollo de 75%, ya que son las que tienen una mayor distancia de acero que está trabajando para resistir el arrancamiento, al contrario que las vigas con el 25% ya que estas cuentan con tan solo 57 cm de acero, por este motivo la extracción de la varilla ocurre rápidamente, como también se evidencia en figura 48.

Se evidencio que el momento máximo fue el del 75% de la longitud de desarrollo contenido en el 2% de fibra con 48.75KN mm, además el comportamiento general de las tres longitudes fue aumentar su momento conforme al incremento del porcentaje de fibra

8.4 Modulo de elasticidad de las vigas.

Se grafico los promedios por configuración de cada viga carga vs tiempo como se muestra en las siguientes figuras 49, 50, 51 y 52.

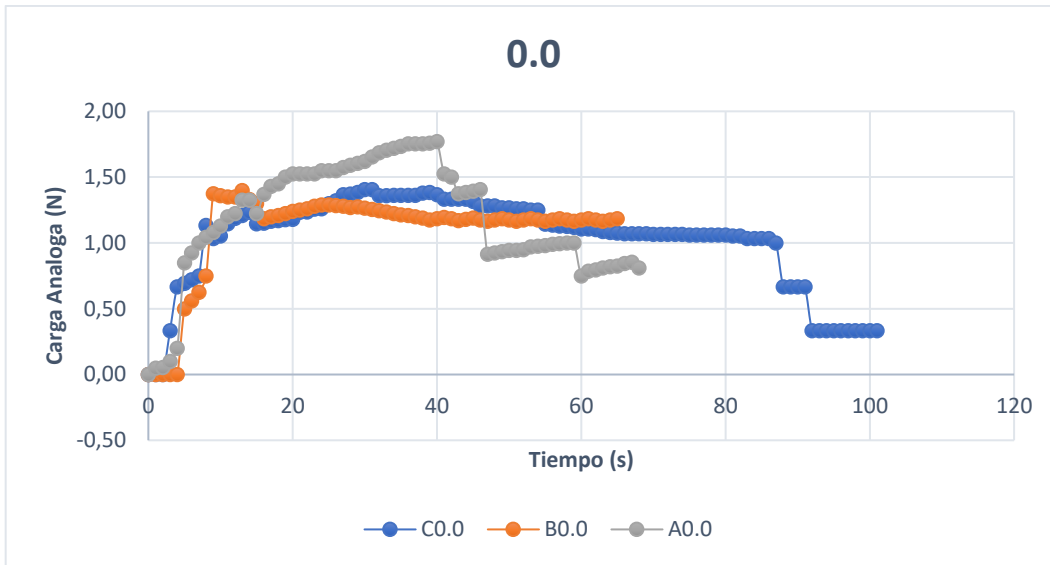


Figura 49 carga análoga vs tiempo vigas sin fibras de acero.

Fuente de los autores.

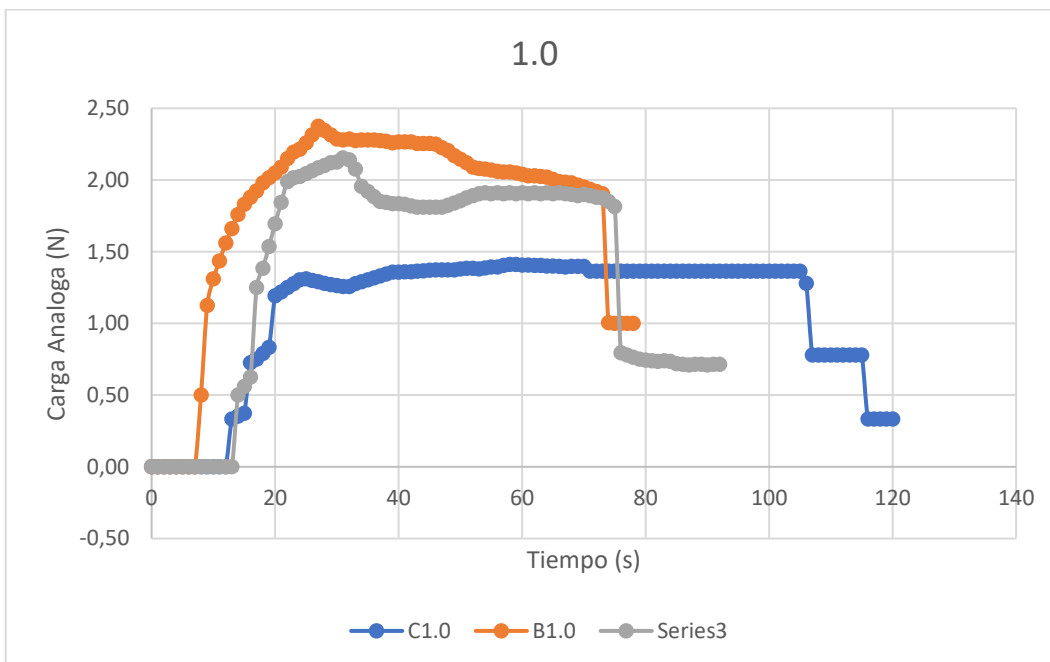


Figura 50 carga análoga vs tiempo vigas con 1% fibras de acero.

Fuente de los autores.

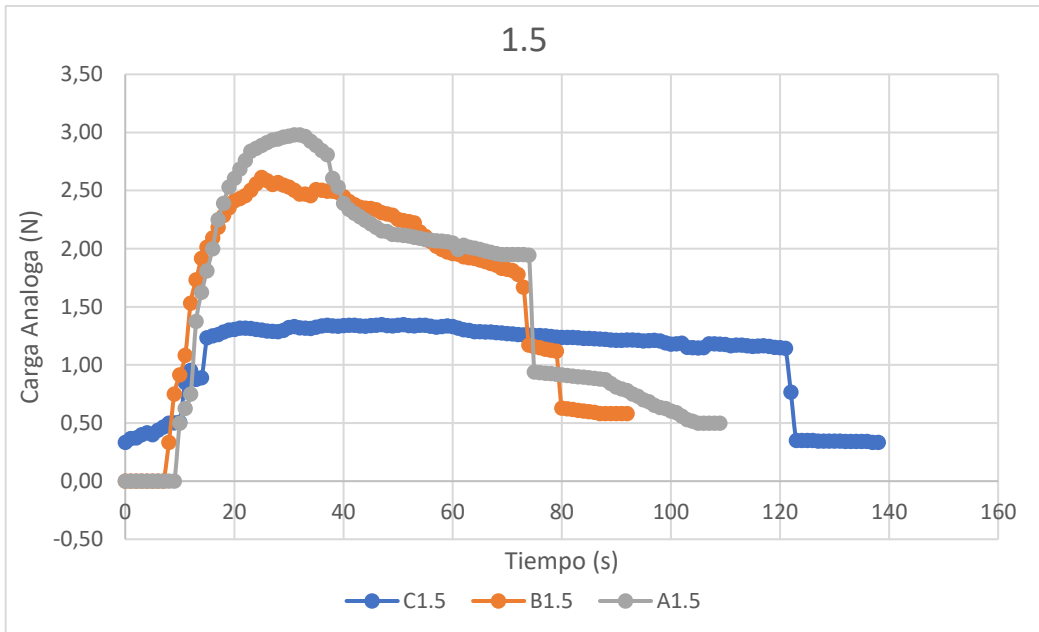


Figura 51 carga análoga vs tiempo vigas con 1.5% fibras de acero.

Fuente de los autores.

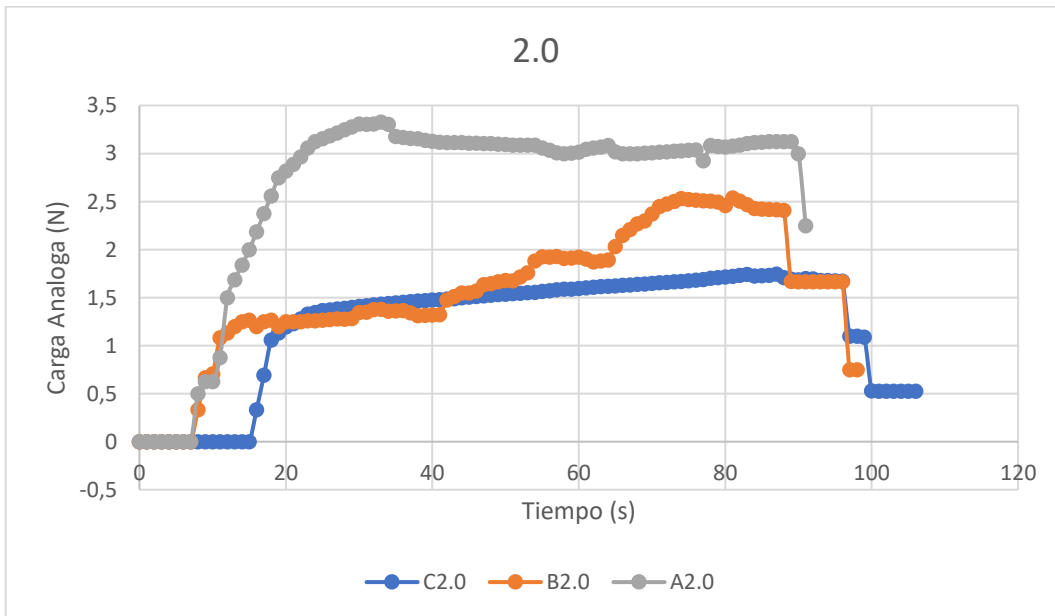


Figura 52 carga análoga vs tiempo vigas con 2.0% fibras de acero.

Fuente de los autores.

Se observa que en las cuatro gráficas por porcentaje de fibra se tiene un comportamiento muy parecido ya que en todos los casos las vigas con el 25% de longitud de desarrollo (A) fueron las que resistieron mas carga, pero se fracturaron de manera súbita en los cuatro porcentajes de fibra, al contrario que las de 75% (C) fueron las que resistieron menos carga, aunque aguantaron mas tiempo sin fracturarse esto indica que estas disiparon más energía en forma de daño; esta respuesta se podría utilizar en estudios sísmicos ya que le da más tiempo al usuario de evacuar una estructura mientras el material se está deformando antes de que colapse

8.5 Comportamiento de los especímenes durante la falla

Durante la falla de las vigas, se observó, que en la parte inferior de esta, se generaron fuerzas de tracción que superaron la resistencia de la matriz de concreto con fibras de acero, pero que no afecto en gran medida el refuerzo longitudinal, ya que se utilizó una barra de acero N°5 dispuesta en la parte inferior y dos barras de acero N°2 ubicadas en la parte superior de la viga y dispuestas allí para evitar esta falla.

Tal como se puede apreciar en todas las imágenes, se hace evidente que la viga solo fallo a un costado de la articulación, tomando de ejemplo la figura 53, la falta del refuerzo adicional en la zona a tracción del cual se habló anteriormente habría logrado que la deformación de la viga ocurriera de forma más equilibrada, es decir a los dos costados de la articulación; la ubicación de los apoyos de la viga (identificados por el color verde) que se encuentran a 12 cms de los extremos y por último los puntos de aplicación de la carga (identificados por el color rojo) que están ubicados a 14 cms de la articulación, en este punto cabe destacar que si el perfil metálico que transmite la carga a la viga fuese demasiado largo,

interrumpiría el correcto desarrollo del ensayo en el momento que la viga se encontrara deflectada.

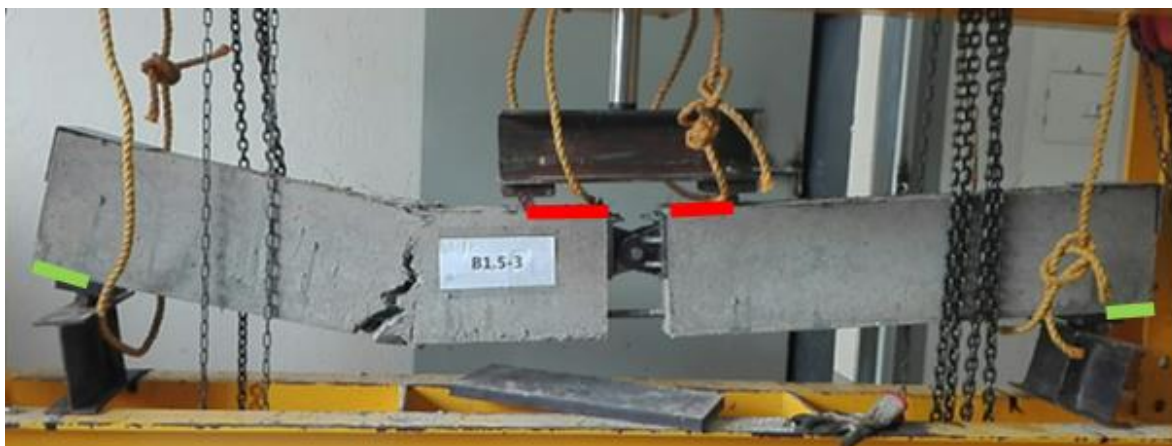


Figura 53 *Falla característica de las vigas.*

Fuente de los autores

Esta falta de refuerzo también generó que la falla se produjera en el punto en el que se acababa la longitud de acero dispuesta, como se observa en la siguiente tabla, la distancia promedio para las vigas con longitud de desarrollo del 75% (A) fue de 41,93cms comparada con la extensión de acero calculada en el numeral 4.5.2 la cual es de 45,07 cms. La distancia para la longitud de desarrollo del 50% (B) fue de 28,86 cms contrastada con la calculada de 30,1 cms y por último la longitud de desarrollo reducida al 25% (C) que fue 11,34 cms confrontada con la calculada de 15,02 cms , como se muestra en la tabla 15.

Tabla 14
Vigas con sus distancias de fisuras unidades en cm.

Vigas	Distancia de fisuras (promedio)	Longitud de desarrollo calculado	Porcentaje
A0.0	40.5		89.9
A1.0	44.39	45.07	98.5
A1.5	41.89		92.9
A2.0	40.94		90.8
B0.0	28.38		94.3
B1.0	29.39	30.1	97.6
B1.5	30.61		101.7
B2.0	28.04		93.2
C0.0	12.91		86.0
C1.0	13.81	15.02	91.9
C1.5	12.53		83.4
C2.0	14.12		94.0

Fuente de los autores.

8.6 Deformaciones obtenidas con el programa GALGA utilizando los strain gages

Los resultados del programa mostraron que la deformación de la viga depende de la cantidad de fibras que esta posee, siendo mayor en el espécimen que poseía más fibras, aunque la diferencia con la viga A1.0-2 fue de tan solo 1.922 las unidades se encuentran en micromilímetros), como se muestra en la tabla 16.

Tabla 16
Deformación con los Strain Gages.

VIGAS	DEFORMACIÓN (μm)
A0.0-2	86.593
A0.0-3	84.173
A1.0-2	96.726
A2.0-2	98.648

Fuente de los autores.

9. Conclusiones

- Se determinó que la adición de un 2 % de fibras de acero aumenta la capacidad de carga a un 198%, para el caso de las vigas con el 75% de longitud de desarrollo.
- Se concluye que la mejor opción en cuanto a refuerzo estructural es la adición de 1.5% de fibras de acero a la matriz del concreto, ya que mejora notablemente sus características mecánicas en un 158%. Además, se afecta su manejabilidad, como lo sería el 2% la cual a su vez tiene mayores costos.
- Se establece que el módulo de elasticidad fue de 21302 N/mm² para los especímenes sin fibras adicionadas, de 19571 N/mm² para las vigas con 1% de fibras, de 18050 N/mm² para los elementos con 1.5% y de 17682 N/mm² para las muestras de 2.0% de fibras. De acuerdo con estos resultados se concluye que entre más fibras se le adicione el módulo de elasticidad disminuye considerablemente en un 17%, a la vez que aumenta la deformación del elemento, haciendo que la falla sea controlada y no de manera súbita.
- Se establece que el 50% de longitud de desarrollo con un 1.5% de fibras de acero para una barra N°5 en una viga solicitada a flexión, ya que en esta combinación el acero llega a la fluencia y se deforma antes de que ocurra la falla, además comparando el momento último teórico con el arrojado por el ensayo se puede observar que esta opción es la más cercana al momento calculado pero que lo supera positivamente.

Recomendaciones y Trabajo Futuro

Se recomienda tener en cuenta que los cálculos teóricos deben incluir la resistencia obtenida en el laboratorio y no la resistencia de diseño para realizar una adecuada comparación, ya que factores como la mano de obra utilizada en la elaboración y producción de la mezcla, la dispersión que presentan las fibras, el curado, la mezcladora de concreto, la formaleta y elementos de vibración pueden jugar un papel muy importante en la resistencia final del concreto.

Se recomienda utilizar los equipos adecuados y actualizados, por ejemplo, los deformímetros deben contar con una mayor amplitud, para así obtener datos con un rango más exacto y que demuestre el comportamiento de los aceros a lo largo de todo el ensayo, ya que los usados en el presente trabajo, tenían una máxima distancia de recorrido de 13,69 mm, también usar el marco de carga apropiado, debido a que el usado muestra la carga (digital y análoga) con una gran diferencia en los resultados dado que se presenta una gran pérdida de carga por la manguera que los comunica.

Dado que los Strain Gages se adhirieron a la barra de acero y se usó una varilla corrugada y no lisa, no se presentó el correcto contacto entre estos y el acero, por este motivo los valores fueron demasiados parecidos entre las vigas a pesar de que los porcentajes de fibras eran diferentes. Se recomienda colocar estos sensores en al menos el 30% de los especímenes y además lijar la parte de la barra en donde se va a colocar el Strain Gage para así obtener un empalme más eficaz y que esto no influya en los resultados finales.

11. Bibliografía

- (s.f.). Recuperado el 8 de Agosto de 2016, de <http://www.guafa.com/costos/esar.htm>
- AgenciaSinc. (s.f.). Recuperado el 7 de Agosto de 2016, de <http://www.agenciasinc.es/Noticias/Hormigon-reforzado-con-fibras-de-acero-para-la-construccion-convencional>
- Beer, F. P. (2010). *Mecanica de Materiales*. Mexico: Mc Graw Hill.
- Carrillo, J., Aperador, W., & Giovanni, G. (2012). Correlaciones entre las propiedades mecanicas del concreto reforzado con fibras de acero. *Ingenieria Invstigacion y Tecnologia*, 14(3).
- Carrillo, J., Gonzalez, G., & Aperador, W. (junio de 2013). Correlaciones entre las propiedades mecanicas del concreto reforzado con fibras de acero. *Ingenieria, investigacion y tecnologia*, 435-450.
- Casallas, J. A. (2006). Strain gages. Fundamentos y aplicaciones en resistencia de materiales. (U. L. Colombia, Ed.) *DESARROLLO SOSTENIBLE Y TECNOLOGIA*(N° 4), 37 - 52.
- Corpa, J. R. (2012). Modelizacion numerica de materiales compuestos. *Universidad Carlos III de Madrid*.
- Fuentes, V., & Sierra, F. (2016). Longitud de desarrollo para una bara NTC-2289 en un elemento de SFRC a flexion.
- Gallo, L., Gonzalez, G., & Carillo, J. (2013). COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS. *Ciencia e Ingenieria Neogranadina*, 117 - 133.
- Gallo, L., González, G., & Carrillo, J. (Enero - Junio de 2013). Comportamiento del concreto reforzado con fibras de acero ZP-306 sometidos a esfuerzos de compresión. *Ciencia e ingenieria Neogranadina*, 117 - 134.
- Jorge Construcccion. (s.f.). Recuperado el 7 de Agosto de 2016, de <http://jorgeconstruccion.jimdo.com/1-1-tipos-de-acero-de-refuerzo/>
- Lamus, F., & Andrade, S. (2015). *Concreto reforzado. Fundamentos*. Colombia: Ecoe.
- Mario, C., Silvia, C., & Roberto, T. (2014). *CONCRETE MIX DESIGN*. Italia.

- Mas Que Ingenieria.* (s.f.). Recuperado el 6 de Agosto de 2016, de <http://masqueingenieria.com/blog/hormigones-especiales-hormigon-reforzado-con-fibras/>
- Mc.Cormac, J. C., & Brown, R. H. (2013). *Diseño de concreto reforzado*. Mexico: Alfaomega.
- Moreno, E., & Fernandez, M. (2000). Dosificación de hormigón reforzado con fibras de acero. *Materiales de construcción*, 47, 247 - 248.
- Mousavi, S., Dehestani, M., & Mousavi, S. (2016). Bond strength and development length of glass fiber-reinforced polymer bar in unconfined self-consolidating concrete. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 35(11), 924 - 941.
- Pira, J. M. (2016). Estudio del comportamiento de la interfaz fibra-matriz solicitada a carga de Pull-Out con fibras cortas de acero y concretos de resistencia normal.
- Qingrui, Y., Zongquan, L., Rong, L., & Xiaobing, C. (2017). Experimental investigation into the development length of carbon-fiber reinforced polymer grids in concrete. *Advances in structural engineering*, 20(6).
- Salazar, P. (2010). Hormigones con fibras de acero. Características mecánicas. *Universidad Politécnica de Madrid*.
- Sika. (s.f.). Concreto reforzado con fibras de acero. *Sika*. Recuperado el 6 de Agosto de 2016
- Sismoresistente, A. C. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismoresistente. Título C. Colombia*.
- Turmo, J., Banthia, N., Gettu, R., & Barragán, B. (2008). Estudio del comportamiento a cortante de vigas. *Materiales de construcción*, 58(292), 5 - 13.
- Yapur, M., Garcia, J. I., & Salazar, D. H. (2012). Medición de esfuerzos y deformaciones en barras metálicas utilizando galgas extensiométricas. *Escuela Superior Politécnica del Litoral*, 2.

Anexos

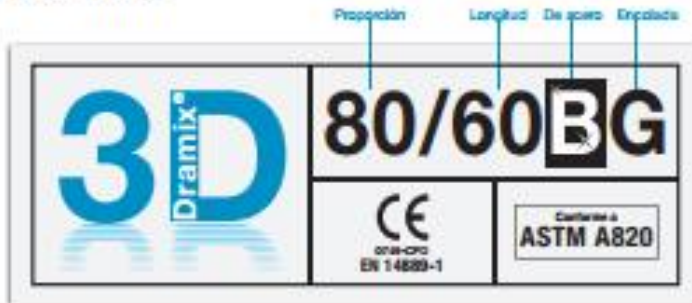
Anexo 1 Ficha técnica dramix

Dramix®

BEKAERT

better together

Ficha Técnica



DRAMIX® 3D



Dramix® 3D es la referencia en refuerzos con fibra de acero. Gracias a su combinación de rendimiento, durabilidad y fácil manejo, 3D es una solución eficiente para un gran número de utilidades y le permite ahorrar tiempo y dinero.

- > anclaje original
- > resistencia a la tracción

Dramix® 3D es una solución rentable para

- > pavimento
- > túneles
- > prefabricados
- > viviendas

Bekaert le ofrece todo el apoyo que necesita para su proyecto. Le ayudamos a elegir el tipo de fibra que más le conviene, la dosificación necesaria y el tipo de hormigón correcto.

Póngase en contacto con su asesor local.

Víste www.bekaert.com/dosingdramix para conocer nuestras recomendaciones sobre manipulación, dosificación y mezcla.

Reservado el derecho a modificaciones. Todos los datos describen nuestros productos con carácter meramente general. Para una información más detallada, consulte las especificaciones técnicas de los productos.

RENDIMIENTO

Propiedades del material

Resistencia a la tracción:
 $R_{m, \text{nom}}: 1.225 \text{ N/mm}^2$
 Tolerancias: $\pm 7,5\%$ promedio
 Módulo de Young: $\pm 210.000 \text{ N/mm}^2$

Geometría

- Gama de fibra: **3D**
- Longitud (l): **60 mm**
- Díámetro (d): **0,75 mm**
- Proporción (M): **80**

Red de fibra

2,2 km por m² (para 10 kg/m²)
 4,584 Fibras/kg
 Dosificación mínima:
 10 kg por m² (según la CE)

Gama Dramix®

5D 4D 3D

Resistencia a la tracción	
Ductilidad del alambre	
Fuerza de anclaje	

CERTIFICACIONES DEL PRODUCTO



Dramix® dispone del certificado para uso estructural conforme a la EN 14889-1 (sistema '1'). Si lo desea, puede solicitar información más detallada.

CERTIFICACIÓN DE SISTEMAS



Todas las plantas industriales Dramix® cuentan con la certificación ISO 9001 e ISO 14001.

EMBALAJE



ALMACENAJE



71 2018 - 1100 10

Anexo 2 *Diseño de mezcla.*

- **Separación de estribos**

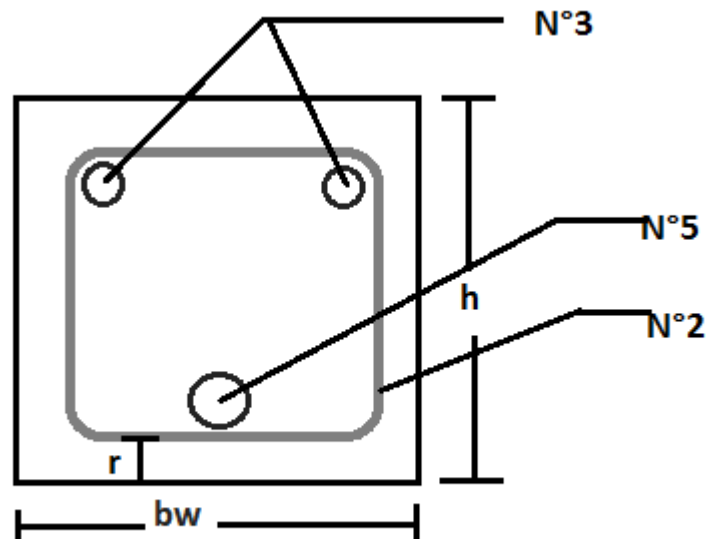


Figura 54 *Distribuciones de estribo y de las barrillas de acero.*

Fuente de los autores.

Nomenclatura

b_w = ancho del alma, base de la viga

h = espesor total o altura de un elemento.

r = radio de giro de la sección transversal de un elemento en compresión.

d = distancia desde la fibra extrema en compresión hasta el centroide del refuerzo longitudinal en tracción.

V_c = resistencia nominal al cortante proporcionada por el concreto.

β_1 = factor que relaciona la profundidad de bloque rectangular equivalente de esfuerzos de compresión con la profundidad del eje neutro.

f'_c = resistencia especificada a la compresión del concreto.

f_y = resistencia especificada a la fluencia del refuerzo.

p = carga

A_v = area de refuerzo de cortante con un espaciamento.

λ = factor de modificación que tiene en cuenta las propiedades mecánicas

reducidas de concreto de peso liviano, relativa a los concretos de peso normal de igual resistencia a la compresión.

ρ_{max} = cuantía de refuerzo máximo.

M_n = resistencia nominal a flexión en la sección.

M_u = momento mayorada en la sección.

V_u = resistencia nominal al cortante.

V_c = resistencia nominal al cortante proporcionada por el concreto.

V_s = resistencia nominal a cortante proporcionada por el refuerzo de cortante.

s = espaciamiento medido centro a centro del refuerzo transversal.

$$b_w = 100 \text{ mm}$$

- d

Ecuación 4 distancia desde la fibra extrema a él centroide del refuerzo longitudinal

$$d = h - r - de - \frac{db}{2}$$

Fuente “concreto reforzado, fundamentos” (Lamus & Andrade, 2015)

$$d = 250\text{mm} - 20\text{mm} - 6.4\text{mm} - \frac{15.9\text{mm}}{2}$$

$$d = 212.5\text{mm}$$

- ρ_{max}

Ecuación 5 Cuantía máxima controlada por tracción

$$\rho_{max} = 0.85 * \beta_1 * \frac{f'_c}{f_y} * \frac{3}{8}$$

Fuente “concreto reforzado, fundamentos (Lamus & Andrade, 2015)

$$\rho_{max} = 0.85 * 0.85 * \frac{28 \text{ Mpa}}{420 \text{ Mpa}} * \frac{3}{8}$$

$$\rho_{max} = 0.01806$$

- $\rho = 1\#5$

Ecuación 6 *cuantía de refuerzo*

$$\rho = \frac{A_s}{b_w * d}$$

Fuente “concreto reforzado, fundamentos” (Lamus & Andrade, 2015)

$$\rho = \frac{199 \text{ mm}^2}{21250 \text{ mm}^2} = 0.0093647$$

$$\rho = 0.0093647$$

- M_n

Ecuación 7 *resistencia nominal*

$$M_n = \rho * f_y \left(1 - 0.59 * \rho * \frac{f_y}{f_c} \right) * b_w * d^2$$

Fuente “concreto reforzado, fundamentos” (Lamus & Andrade, 2015)

$$M_n = 0.0093647 * 420 \text{ Mpa} \left(1 - 0.59 * 0.0093647 * \frac{420 \text{ Mpa}}{28 \text{ Mpa}} \right) * 100 \text{ mm} * (215.5 \text{ mm})^2$$

$$M_n = 16288780.8 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 16.3 \text{ KNm}$$

$$M_{max} = 20 \text{ KNm}$$

- M_u

Ecuación 8 *momentos mayorala*

$$M_u = \frac{p * 2}{6}$$

Fuente “concreto reforzado, fundamentos” (Lamus & Andrade, 2015)

$$20 = \frac{p * 2}{6} \rightarrow p = 60KN$$

- Calculo de separación entre estribos

Resistencia nominal a cortante (V_n):

$$V_u = 30KN$$

$$V_n = \frac{30KN}{0.75} * 1.5$$

$$V_n = 60KN$$

En cada sección los estribos presentan 2 ramas, por lo tanto:

$$Av = 2\#3$$

$$Av = 2 * 32$$

$$Av = 64mm^2$$

- V_c

Ecuación 9 *resistencia nominal al cortante*

$$V_c = 0.17 * \lambda * \sqrt{f'c} * bw * d$$

Fuente “concreto reforzado, fundamentos” (Lamus & Andrade, 2015)

$$V_c = 0.17 * 0.1 * \sqrt{28Mpa} * 100mm * 215.5mm$$

$$V_c = 19.12KN$$

- V_s

Ecuación 10 *resistencia nominal al cortante proporcionada por el refuerzo de cortante*

$$V_n = V_c + V_s \rightarrow V_s = V_n - V_c$$

Fuente “concreto reforzado, fundamentos” (Lamus & Andrade, 2015)

$$(30)V_s = 30 - 19.12$$

$$(30)V_s = 10.9KN$$

$$(60)V_s = 60 - 19.12$$

$$(60)V_s = 40.9KN$$

- S

Ecuación 11 *separación entre estribos*

$$V_s = \frac{f_y * A_v * d}{s} \rightarrow S = \frac{f_y * A_v * d}{V_s}$$

Fuente “concreto reforzado, fundamentos” (Lamus & Andrade, 2015)

$$A_v = 2.32 = 64mm^2$$

$$(30)S = \frac{64 * 420 * 212.5}{20000}$$

$$(30)S = 285mm$$

$$(60)S = 142mm$$

$$C = 15$$

- **Diseño de Mezcla de Concreto para una resistencia de 28 MPa (4000 psi)**

El diseño de mezcla se realizó de acuerdo con el libro Concrete Mix Design (Mario, Silvia, & Roberto, 2014), para un concreto que requiere como especificación estructural un valor de f'_c de 28 MPa (4000 psi) de resistencia. Esta mezcla no considera el aporte a la

resistencia de la adición de fibras de acero la cual se encuentra en porcentajes de 0.0, 1.0, 1.5 y 2.0 respecto al volumen de la viga.

- **Selección del asentamiento**

Se seleccionó un asentamiento (Slump) de 10 cm, determinado por la Tabla 17, la cual relaciona la consistencia propia de la mezcla con su asentamiento, y a su vez el sistema empleado en la compactación y colocación con base en los diferentes tipos de construcción. Se eligió un asentamiento en el rango de 5 y 10 cm, para pavimentos compactados a mano, losas, muros y vigas con una colocación manual, la cual fue empleada en el presente proyecto de investigación para la elaboración de los especímenes.

Tabla 17
Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción y sistemas de colocación y compactación.

Consistencia	Asentamiento (mm)	Ejemplo de Tipo de Construcción	Sistema de Colocación	Sistema de Compactación
Muy Seca	0-20	Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantallas de cimentación	Con vibradores de formaleta, concretos de proyección neumática (lanzado)	Secciones sujetas a vibración extrema, puede requerirse presión
Seca	20-35	Pavimentos	Pavimentadoras con terminadora vibratoria	Secciones sujetas a vibraciones intensas
Semi-seca	35-50	Pavimentos, fundaciones en concreto simple	Colocación con maquinas operadas manualmente	Secciones simplemente reforzadas, con vibración
Media	50-100	Pavimentos compactados a mano, losas muros, vigas	Colocación manual	Secciones medianamente reforzadas, sin vibración
Húmeda	100-150	Elementos estructurales esbeltos	Bombeo	Secciones bastante reforzadas, sin vibración
Muy Húmeda	150 o más	Elementos muy esbeltos, pilotes fundidos "in situ"	Tubo-embudo Tremie	Secciones altamente reforzadas, sin vibración. (Normalmente no adecuadas para vibrarse)

Fuente “Tecnología del Concreto y del Mortero; tabla 11,3 pág. 228” (Sánchez de Guzmán, 2001)

- **Selección del tamaño máximo del agregado.**

La selecciono un tamaño máximo nominal para la grava de 1/2" (12.7 mm) y para la arena un tamaño máximo nominal No. 4 (4.76 mm) esto de acuerdo con los resultados de la granulometría de los agregados gruesos y finos. Como se muestra en la tabla 18, para su clasificación de agregados según su tamaño.

Tabla 158
Clasificación general del agregado según su tamaño.

Tamaño de las partículas en mm (pulg)	Denominación más corriente	Clasificación	Clasificación como agregado para concreto
Inferior a 0,002	Arcilla	Fracción muy fina	No recomendada
Entre 0,002-0,074 (No. 200)	Limo		
Entre 0,074-4,76 (No. 200)-(No. 4)	Arena	Agregado fino	Material apto para producir concreto
Entre 4,76-19.1 (No. 4)-(3/4")	Gravilla	Agregado grueso	
Entre 19.1-50.8 (3/4")-(2")	Grava		
Entre 50.8-152.4 (2")-(6")	Piedra		
Superior a 152.4 (6")	Rajón, piedra bola		

Fuente "Tecnología del Concreto y del Mortero; tabla 4.5 pág. 70" (Sánchez de Guzmán, 2001)

- **Contenido de agua de mezclado.**

El contenido de agua de mezclado se realizó con base en la forma de los agregados, considerando concreto sin aire incluido, y para un tamaño máximo del agregado de 12.7 mm.

Además de un asentamiento de 10 cm obtenido de la Tabla 19, se logró determinar que el contenido de agua para esta mezcla por cada m³ de concreto es de 205 kg/m³.

Tabla19
Requerimiento aproximado de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de agregado, con partículas de forma redondeada y textura lisa, en concreto sin aire incluido.

		Tamaño Maximo del Agregado, en mm (pulg.)							
Asentamiento		10 - 3/8"	12,5 - 1/2"	19 - 3/4"	25 - 1"	38,1 - 1 1/2"	50 - 2"	63,5 - 2 1/2"	75 - 3"
mm	pulg.	Agua de Mezclado, en Kg/m ³ de Concreto							
0	0	213	185	171	154	144	136	129	123
25	1	218	192	177	161	150	142	134	128
50	2	222	197	183	167	155	146	138	132
75	3	226	202	187	172	160	150	141	136
100	4	229	205	191	176	164	154	144	139
125	5	231	208	194	179	168	156	146	141
150	6	233	212	195	182	172	159	150	143
175	7	237	216	200	187	176	165	156	148
200	8	244	222	206	195	182	171	162	154

Fuente “Tecnología del Concreto y del Mortero; tabla 11,6 pág. 233” (Sánchez de Guzmán, 2001)

Ecuación 12 *volumen del agua*

$$V_W = \frac{W}{D}$$

Fuente “Tecnología del Concreto y del Mortero” (Sánchez de Guzmán, 2001)

En donde:

W = peso del agua

D= Densidad agua.

$$V_W = \frac{205 \text{ kg/m}^3}{1000 \text{ kg/m}^3}$$

$$V_W = 0.205 \text{ m}^3$$

- **Estimación de la resistencia de diseño.**

De acuerdo con el libro Concrete Mix Design (Mario, Silvia, & Roberto , 2014), la resistencia de diseño de la mezcla que se debe utilizar para obtener la resistencia deseada se debe hallar por medio del criterio 1 de la Tabla 20, es decir la Ecuación 13.

Tabla 20
Simple mix design.

Criteion 1 (for the initial 3 test results)	$f_{mc28} = f_{ck} + 4$
Criteion 2 (for the following 15 test results)	$f_{mc28} = f_{ck} + 1 * 48 * \delta$

Fuente “Concrete Mix Design; tabla 2.1 pág. 2”
(Mario Collepardi, Silvia Collepardi, Roberto Troli 2007)

Datos de Entrada $f_{ck} = 280 \text{ kg/cm}^2$

Ecuación 13 *Resistencia de diseño de la mezcla.*

$$f_{mc28} = f_{ck} + 4$$

Fuente “Concrete Mix Design; pág. 3”
(Mario Collepardi, Silvia Collepardi, Roberto Troli 2007)

$$f_{mc28} = 280 \text{ kg/cm}^2 + 4$$

$$f_c' = 320 \text{ kg/cm}^2$$

- **Selección de la relación agua – cemento.**

La selección de la relación agua– cemento se determinó a partir de la resistencia de diseño obtenida ($f_c' = 320 \text{ kg/cm}^2$), y a su vez, por tratarse de un concreto sin aire incluido, el dato de relación A/C es de 0,56.

- **Cálculo del contenido de cemento.**

El cálculo del volumen de cemento se realizó por medio de las ecuaciones 14 y 15.

Ecuación 14 *Cálculo del contenido de cemento.*

$$C = \frac{A}{A/C_2}$$

Fuente “Concrete Mix Design; pág. 3”
(Mario Collepardi, Silvia Collepardi, Roberto Troli 2007)

En donde:

A = requerimiento de agua de mezclado

A/C₂ = relación agua – cemento.

$$C = \frac{205 \text{ kg/m}^3}{0,54}$$

$$C = 379,63 \text{ kg/m}^3$$

Ecuación 15 *Calculo del volumen del cemento*

$$V = \frac{W}{D}$$

Fuente “Concrete Mix Design; pág. 3”
(Mario Collepardi, Silvia Collepardi, Roberto Troli 2007)

En donde:

W = peso del cemento

D= Densidad Cemento.

$$V = \frac{379,63 \text{ kg/m}^3}{3150 \text{ kg/m}^3}$$

$$V = 0.121 \text{ m}^3$$

- **Estimación de las proporciones de los agregados.**

La estimación de las proporciones de los agregados se realizó teniendo en cuenta que cumplieran con las especificaciones de la norma ICONTEC 174. El primer paso fue determinar el volumen seco y compactado del agregado grueso por volumen unitario de concreto, esto utilizando de la Tabla 21.

Tabla 2116
Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto.

Tamaño Máximo del Agregado		Módulo de Finura de la Arena			
mm	pulg.	2,4	2,6	2,8	3,0
9,51	3/8	0,50	0,48	0,46	0,44
12,7	1/2	0,59	0,57	0,55	0,53
19,0	3/4	0,66	0,64	0,62	0,60
25,4	1	0,71	0,69	0,67	0,65
38,1	1 1/2	0,75	0,73	0,71	0,69
50,8	2	0,78	0,76	0,74	0,72
76,1	3	0,82	0,80	0,78	0,76
152	6	0,87	0,85	0,83	0,81

Fuente “Tecnología del Concreto y del Mortero; tabla 11,15 pág. 241” (Sánchez de Guzmán, 2001)

De acuerdo con la Tabla 4 se logró determinar el valor de la densidad del agregado (d_a 53%) para lo cual, fue necesario conocer el valor del módulo de finura de la arena, el cual fue de 3,23 y a su vez el tamaño máximo nominal del agregado grueso que fue de 12.7 mm. De acuerdo con los datos anteriores se logró obtener la Ecuación 16 de volumen de agregado grueso (m^3) para $1m^3$ de concreto

Ecuación 16: *volumen del agregado grueso.*

$$V_a = (V_{con} - V_c - V_w - V_{a'}) * d_a$$

Fuente “Tecnología del Concreto y del Mortero” (Sánchez de Guzmán, 2001)

En donde:

$V_c = \text{Volumen del concreto ; (m}^3\text{)}$

$V_w = \text{volumen del agua; (m}^3\text{)}$

$V_{a'} = \text{Volumen del aire; (m}^3\text{)}$

$V_{con} = \text{Volumen para 1 m}^3 \text{ de cemento}$

$d_a = \text{densidad del agregado seco superficialmente saturado}$

$$V_a = (1 \text{ m}^3 - 0.121 \text{ m}^3 - 0.205 \text{ m}^3 - 0.028 \text{ m}^3) * 52\%$$

$$V_a = 0.336 \text{ m}^3$$

Ecuación 17 *Peso del agregado grueso*

$$W = V * D$$

Fuente “Tecnología del Concreto y del Mortero” (Sánchez de Guzmán, 2001)

En donde:

V = Volumen del agregado grueso

D= Densidad del agregado grueso; (2500 kg/m³)

$$W = 0.336 \text{ m}^3 * 2500 \text{ kg/m}^3$$

$$W = 840.43 \text{ kg/m}^3$$

Para los cálculos del agregado fino se hacen los mismos cálculos de las ecuaciones 16 y 17 con la única diferencia de ($d_a = 1-52\%$) la cual da 48%.

De acuerdo con la Tabla 6, se expresa en peso seco y volumen absoluto los materiales constituyentes para un metro cubico de concreto, con especificaciones de resistencia de 28 MPa (4000 psi).

- **Cantidad de los materiales constituyentes por Bachada.**

De acuerdo con las especificaciones y variables consideradas, se realizaron 12 bachadas en las que se consideraron el porcentaje de fibra y a su vez la longitud de desarrollo como se muestra en la tabla 22. Cada bachada consistió en la realización de 3 vigas de dimensiones 200x25x10 cm, y 3 cilíndricos de dimensiones 10x20 cm.

Tabla17
Cantidad de vigas y cilindro por bachada

Numero de bachadas	Numero de vigas	Numero de cilindros	Porcentaje de fibras	longitud de desarrollo
1	3	3	0%	25%
2	3	3	0%	50%
3	3	3	0%	75%
4	3	3	1%	25%
5	3	3	1%	50%
6	3	3	1%	75%
7	3	3	1,5%	25%
8	3	3	1,5%	50%
9	3	3	1,5%	75%
10	3	3	2%	25%
11	3	3	2%	50%
12	3	3	2%	75%

Fuente de los autores.

- **Cantidades de Obra.**

Teniendo en cuenta el diseño de mezcla y la cantidad de bachada para 1 m³, se realizó la respectiva relación para el volumen de 1.84 m³ como se muestra en las tablas 23 y 24, con el dato obtenido y una regla de tres se obtuvo los valores del peso seco y volumen absoluto de cada uno de los materiales como se observa en la Tabla 9 para las bachadas.

Tabla18
Volumen de bachadas (vigas).

Bachadas (vigas)	Dimensión			Total (m ³)	% long. Desarrollo	% Fibras	Volumen fibras (m ³)	Volumen mezcla (m ³)
	Base (m)	Alto (m)	largo (m)					
1	0,1	0,25	2	0,15	25	0%	0	0,15
2	0,1	0,25	2	0,15	50	0%	0	0,15
3	0,1	0,25	2	0,15	75	0%	0	0,15
4	0,1	0,25	2	0,15	25	1%	0,0015	0,149
5	0,1	0,25	2	0,15	50	1%	0,0015	0,149
6	0,1	0,25	2	0,15	75	1%	0,0015	0,149
7	0,1	0,25	2	0,15	25	1,5%	0,00225	0,148
8	0,1	0,25	2	0,15	50	1,5%	0,00225	0,148
9	0,1	0,25	2	0,15	75	1,5%	0,00225	0,148
10	0,1	0,25	2	0,15	25	2%	0,003	0,147
11	0,1	0,25	2	0,15	50	2%	0,003	0,147
12	0,1	0,25	2	0,15	75	2%	0,003	0,147
Total							0,02025	1,77975

Fuente de los autores.

Tabla19
Volúmenes de los cilindros.

Bachadas (cilindros)	Dimensiones	Total (m ³)	% Fibras	Volumen Fibras	Volumen mezcla
1	(10 x 20) cm	0,004712	0%	0	0,004712
2	(10 x 20) cm	0,004712	0%	0	0,004712
3	(10 x 20) cm	0,004712	0%	0	0,004712
4	(10 x 20) cm	0,004712	1%	4,71239E-05	0,004665
5	(10 x 20) cm	0,004712	1%	4,71239E-05	0,004665
6	(10 x 20) cm	0,004712	1%	4,71239E-05	0,004665
7	(10 x 20) cm	0,004712	1,5%	7,06858E-05	0,004642
8	(10 x 20) cm	0,004712	1,5%	7,06858E-05	0,004642
9	(10 x 20) cm	0,004712	1,5%	7,06858E-05	0,004642
10	(10 x 20) cm	0,004712	2%	9,42478E-05	0,004618
11	(10 x 20) cm	0,004712	2%	9,42478E-05	0,004618
12	(10 x 20) cm	0,004712	2%	9,42478E-05	0,004618
Total				0,000636173	0,055912

Fuente de los autores.

Se observa en la tabla 25 y 26, un resumen del peso de fibras que corresponde a cada cilindro o viga según el porcentaje asignado, teniendo en cuenta que la densidad de las fibras es de 7.8 Kg/L y que se hicieron tres especímenes por cada configuración.

Tabla20
Peso de fibras para cilindros.

% DE FIBRAS	VOLUMEN 9 CILINDROS (m³)	VOLUMEN FIBRAS (m³)	PESO FIBRAS POR 9 CILINDROS (Kg)
0,0%	0,014137	0	0
1,0%	0,014137	0,000141372	1,102699021
1,5%	0,014137	0,000212058	1,654048532
2,0%	0,014137	0,000282743	2,205398043

Fuente de los autores.

Tabla21
Peso de fibras para vigas.

% DE FIBRAS	VOLUMEN 1 VIGA (m³)	VOLUMEN FIBRAS (m³)	PESO FIBRAS POR 1 VIGA (Kg)
0,0%	0,05	0	0,0
1,0%	0,05	0,0005	3,9
1,5%	0,05	0,00075	5,9
2,0%	0,05	0,001	7,8

Fuente de los autores.

Cabe resaltar que la fibra utilizada fue Dramix 3D 80/60 BG, esta fue facilitada por la empresa PROALCO – BEAKERT, y su especificación se encuentra en el Anexo 1.

- **Cálculo longitud de desarrollo**

De acuerdo con la ecuación 18 en el numeral 3.1.4, a continuación, se procede a calcular la longitud de desarrollo.

Ecuación 18 *Longitud de desarrollo*

$$L = \frac{1}{\gamma} * \frac{fy}{\lambda * \sqrt{f'c}} * db$$

Fuente “concreto reforzado, fundamentos” (Lamus & Andrade, 2015)

Dónde:

fy: Esfuerzo de fluencia del acero = 420 MPa.

db: Diámetro nominal de la barra de acero = N°5: 15,9 mm

f'c: resistencia especificada de concreto a compresión = 28 MPa

λ: Coeficiente que depende si el concreto es de peso liviano = 1

γ: constante que depende de la forma de los resaltos de la barra y de la distribución de esfuerzos a lo largo de la misma. = 2,1

$$Ld = \frac{1}{2,1} * \frac{420MPa}{1 * \sqrt{28MPa}} * 15,9mm = 600,96mm$$

De acuerdo con la ecuación anterior, la longitud de desarrollo es de 60,096 cms, ahora, ya que en la presente investigación se desea evaluar extensiones de la barra reducidas al 25%, 50% y 75% de la longitud total, los valores para estas quedarían así:

Tabla22
Longitudes de acero que estarán trabajando con el concreto.

Longitud de desarrollo (cm)	60,10
25% de long. de desarrollo (cm)	15,02409
50% de long. de desarrollo (cm)	30,04818
75% de long. de desarrollo (cm)	45,07226

Fuente de los autores.

Anexo 3 *Falla a compresión de cilindro mezcla 3, 2% de fibra*

Dec 11, 2017

Compresion de cilindros 4"

Report No. 4714

Test Date 06-Dec-17 Testing Machine Smart Series
Customer Name aliz casiblanco Purchase Order 1
Operator Camilo G

Load Cell S/N (H773), Units (LBS) 224810 Crosshead Speed (mm / min) or Rate 66000
Displacement Sensor XHD100 (XHD100)

Test No	Specimen ID	Diametro (mm)	Force max (N)	Resistencia a la compresion (Mpa)
9670	d2.0	100.00	88,184.47	11.23

By: _____ Date: _____

Test Performed in Accordance with ASTM E-9, Rev. 88

Universidad De La Salle TEL FAX

Anexo 4 *Falla a tracción de cilindro mezcla 3, 1.5% de fibra*

Dec 11, 2017

Compresion de cilindros 4"

Report No. 4713

Test Date 05-Dec-17 Testing Machine Smart Series

Customer Name aliz castiblanco
Operator Camilo G

Purchase Order 1

Load Cell S/N (H773), Units (LBS) 224810 Crosshead Speed (mm / min) or Rate 66000
Displacement Sensor XHD100 (XHD100)

Test No	Specimen ID	Diametro (mm)	Force max (N)	Resistencia a la compresion (Mpa)
9669	d1.5	100.00	74,761.19	9.52

By: _____ Date: _____

Test Performed in Accordance with ASTM E-9, Rev. 88

Universidad De La Salle TEL FAX

Anexo 5 Falla a compresión de cilindro mezcla 1

Dec 11, 2017

Compresion de cilindros 4"

Report No. 4509

Test Date 28-Aug-17 Testing Machine Smart Series

Customer Name ALIZ
Operator Camilo G

Purchase Order 1
Type C

Load Cell S/N (H773), Units (LBS) 224810 Crosshead Speed (mm / min) or Rate 66000
Displacement Sensor XHD100 (XHD100)

Test No	Specimen ID	Diametro (mm)	Force max (N)	Resistencia a la compresion (Mpa)
8486	CM1-2%-1	100.00	130,828.30	16.66
8487	CM1-2%-2	100.00	113,705.50	14.48
8488	CM1-2%-3	100.00	141,360.20	18.00
8489	CM1-1%-1	100.00	145,502.70	18.53
8490	CM1-1%-2	100.00	130,934.50	16.67
8491	CM1-1%-3	100.00	155,892.30	19.85
8492	CM1-1.5%-1	100.00	138,828.90	17.68
8493	CM1-1.5%-2	100.00	59,137.35	7.53
8494	CM1-1.5%-3	100.00	115,656.20	14.73
8495	CM1-0%-1	100.00	191,504.40	24.38
8496	CM1-0%-2	100.00	222,682.80	28.35
8497	CM1-0%-3	100.00	179,095.80	22.80
	Mean	100.00	143,760.74	18.30
	Median	100.00	138,828.90	17.68
	Std Dev	0.00	41,694.85	5.31
	Maximum	100.00	222,682.80	28.35
	Minimum	100.00	59,137.35	7.53
	Range	0.00	163,545.40	20.82

By: _____ Date: _____

Test Performed in Accordance with ASTM E-9, Rev. 88

Universidad De La Salle TEL FAX

Anexo 6 Falla a compresión de cilindro mezcla 2

Dec 11, 2017

Compresion de cilindros 4"

Report No. 4512

Test Date 28-Aug-17 Testing Machine Smart Series

Customer Name ALIZ
Operator Camilo G

Purchase Order 3
Type C

Load Cell S/N (H773), Units (LBS) 224810 Crosshead Speed (mm / min) or Rate 66000
Displacement Sensor XHD100 (XHD100)

Test No	Specimen ID	Diametro (mm)	Force max (N)	Resistencia a la compresion (Mpa)
8508	M2-0%-1	100.00	175,073.50	22.29
8509	M2-0%-2	100.00	173,690.10	22.11
8510	M2-0%-3	100.00	207,557.50	26.43
8511	M2-1%-1	100.00	181,485.30	23.11
8512	M2-1%-2	100.00	198,593.90	25.29
8513	M2-1.5%-1	100.00	197,897.50	25.20
8514	M2-1.5%-2	100.00	204,952.30	26.10
8515	M2-1.5%-3	100.00	196,933.60	25.07
8516	M2-2%-1	100.00	140,022.50	17.83
8517	M2-1%-3	100.00	162,149.60	20.65
8518	M2-2%-2	100.00	128,351.50	16.34
8519	M2-2%-3	100.00	146,518.50	18.66
Mean		100.00	176,102.15	22.42
Median		100.00	175,073.50	22.29
Std Dev		0.00	26,839.97	3.42
Maximum		100.00	207,557.50	26.43
Minimum		100.00	128,351.50	16.34
Range		0.00	79,206.02	10.08

By: _____ Date: _____

Test Performed in Accordance with ASTM E-9, Rev. 88

Universidad De La Salle TEL FAX

Anexo 7 Falla a compresión de cilindro mezcla 3

Dec 11, 2017

Compresion de cilindros 4"

Report No. 4637

Test Date 20-Oct-17 Testing Machine Smart Series
 Customer Name Alz
 Operator Camilo G

Load Cell S/N (H773), Units (LBS) 224810 Crosshead Speed (mm / min) or Rate 66000
 Displacement Sensor XHD100 (XHD100)

Test No	Specimen ID	Diametro (mm)	Force max (N)	Resistencia a la compresion (Mpa)
9153	Mezcla3-0%-1	100.00	169,550.70	21.59
9154	Mezcla3-0%-2	100.00	186,501.70	23.75
9155	Mezcla3-1%-1	100.00	152,305.00	19.39
9156	Mezcla3-1%-2	100.00	145,367.70	18.51
9157	Mezcla3-1.5%-1	100.00	71,266.26	9.07
9158	Mezcla3-1.5%-2	100.00	80,072.90	10.20
9159	Mezcla3-2%-1	100.00	137,387.20	17.49
9160	Mezcla3-2%-2	100.00	133,832.60	17.04
	Mean	100.00	134,535.51	17.13
	Median	100.00	137,387.20	17.49
	Std Dev	0.00	40,244.68	5.12
	Maximum	100.00	186,501.70	23.75
	Minimum	100.00	71,266.26	9.07
	Range	0.00	115,235.40	14.67

By: _____ Date: _____

Test Performed in Accordance with ASTM E-9, Rev. 88

Universidad De La Salle TEL FAX

Anexo 8 Resultados viga A0.0-3

CARGA		DEFORMIMETROS					Descripcion
Digital		Δ 1	Δ 2	Δ 3	Δ 4	Δ 5	
	-	0	0,01	0,04	0	0,04	
	-	0	0,01	0,09	0	0,04	
	-	0	0,05	0,15	0,02	0,33	
202	-	0	0,08	0,15	0,1	1,05	
224	-	0	0,1	0,18	0,15	2,2	
218	1	1,11	0,1	0,18	0,28	2,35	
292	1,25	1,67	0,1	0,17	0,31	3,15	
318	1,37	2,32	0,1	0,17	0,45	4,14	
408	1,5	2,4	0,09	0,16	0,65	4,82	
462	1,62	2,4	0,1	0,15	0,65	5,29	
478	1,7	2,45	0,1	0,15	0,64	6,2	
506	1,75	2,5	0,1	0,16	0,64	7,19	
524	1,9	2,94	0,1	0,17	0,64	7,34	
558	2	3,78	0,1	0,18	0,64	8,21	
580	1,1	3,8	0,1	0,25	0,61	9,35	
258	1,2	3,85	0,1	0,19	0,8	10,43	
302	1,24	3,87	0,1	0,19	0,8	11,11	
332	1,26	3,9	0,1	0,19	0,8	11,27	
366	1,3	3,94	0,1	0,19	0,8		
410	1,4	4,67	0,1	0,2	0,8		
426	1,45	5,09	0,1	0,2	0,8		
414	1,45	5,51	0,1	0,2	0,81		
412	1,45	6,41	0,48	0,2	0,81		
408	1,45	7,01	0,48	0,21	0,81		
406	1,45	7,01	0,57	0,21	0,81		
404	1,45	7,01	0,53		0,81		
434	1,45	7,15	0,5		0,81		
440	1,5	7,21	0,93		0,81		
448	1,53	7,28	0,96		0,83		
480	1,56	7,36	1,05		0,83		
486	1,59	7,48	1,15		0,83		
500	1,61	7,54	1,57		0,83		
484	1,62	7,69	1,77		0,83		
480	1,65	7,82	2,45		0,83		
	1,68	7,9	2,45		0,83		
	1,71	8	2,46		0,83		
	1,75	8,34	2,47		0,83		
	1,75	8,62	2,48		0,83		
472	1,75	8,73	2,49		0,83		
470	1,75	8,88	2,5		0,83		
468	1,75	8,99	2,52		0,83		
466	1,75	9	3,21		0,83		
468	1,75	9,17	3,21		0,83		
466	1,75	9,22	3,21		0,83		
464	1,77	9,35	3,89		0,83		
464	1,79	9,49	4,16		0,83		
464	1,81	9,49	4,18		0,83		
470	1,83	9,52	5,21		0,83		
500	1,85	9,78	5,34		0,83		
514	1,87	10,07	6,42		0,83		
532	1,89	10,32	6,45		0,83		
536	1,89	10,68	6,55		0,83		
542	1,9	11	7,58		0,84		
552	1,94	11,3	8,94		0,84		
570	1,95	11,9	10,32		0,84		
586	1,96	12	11,4		0,84		
582	1,98	12,64	11,45		0,84		
572	1,99	12,64	11,87		0,84		
575	2	12,65	12		0,84		

fecha/hora:	20/02/2018 3:17pm				
viga:	A0.0-3				
Long. Desarrollo	Porcentajes de fibra				
	0	1.0	1.5	2.0	
A	25	A00-1	A1.0-1	A1.5-1	A2.0-1
B	50	B00-1	B1.0-1	B1.5-1	B2.0-1
C	75	C00-1	C1.0-1	C1.5-1	C2.0-1

Anexo 9 Resultados viga A1.0-3

CARGA		DEFORMIMETROS					Descripcion
digital		Δ 1	Δ 2	Δ 3	Δ 4	Δ 5	
-			0		0		
-			0		0		
-			0		0		
-			0,02		0	0,01	
-			0,03		0	0,01	
-			0,04	0,01	0,04	0,03	
-			0,03	0,01	0,1	0,04	
108	-	0	0,03	0,01	0,1	0,56	
136	-	0	0,03	0,01	0,11	1,2	
135	-	0	0,03	0,52	0,11	2,34	
129	-	0	0,03	1,6	0,11	4,26	
126	-	0	0,03	2,02	1,01	4,68	
120	-	0	0,03	2,29	1,61	5,04	
122	-	0	0,04	2,3	1,96	5,17	
162	1	0	0,04	2,8	2,19	5,92	
179	1,12	0	0,04	2,94	2,19	6,4	
220	1,25	0	0,04	3,02	2,64	7,38	
310	1,5	0	0,05	3,02	2,65	7,42	
414	1,75	0	0,05	2,87	2,5	8,49	
434	2	0	0,05	2,82	2,53	8,81	
510	2,25	0	0,05	2,15	2,51	9,54	
574	2,5	0	0,05	2,1	2,49	10,28	
648	2,75	0	0,05	2,64	2,46	11,46	
694	2,79	0	0,05	2,6	2,44	11,76	
740	2,8	0	0,05	2,6	2,44	11,76	
682	2,82	0	0,06	2,6	2,42	11,76	
670	2,84	0	0,06	2,63	2,42	11,76	
678	2,86	0	0,06	2,67	2,42	11,76	
672	2,88	0	0,06	2,67	2,4	11,76	
642	2,9	0,42	0,05	2,67	2,4	11,76	
664	2,9	0,98	0,05	2,67	2,39	11,76	
664	2,95	1,54	0,05	2,67	2,38		
626	2,9	2,1	0,05	2,67	2,34		
620	2,75	3,11	0,04	2,67	2,33		
574	2,5	3,55	0,04	2,67	2,33		
544	2,41	4,45	0,04	2,67	2,33		
504	2,33	5,7	0,04	2,67	2,33		
516	2,25	6,33	0,04	2,67	2,33		
485	2,22	6,91	0,04	2,67	2,33		
472	2,19	7,57	0,04	2,67	2,33		
465	2,18	7,7	0,04	2,67	2,33		
422	2,16	7,82	0,04	2,68	2,33		
422	2,14	7,82	0,04	2,68	2,33		
420	2,12	7,82	0,04	2,68	2,33		
420	2,12	7,82	0,04	2,68	2,33		
420	2,12	7,82	0,04	2,68	2,33		
420	2,12	7,82	0,04	2,68	2,33		
420	2,12	7,82	0,04	2,68	2,33		
418	2,12	7,83	0,04	2,68	2,33		
418	2,12	7,91	0,04	2,68	2,33		
446	2,12	8,32	0,04	2,68	2,33		
468	2,12	8,61	0,04	2,69	2,33		
434	2,12	8,63	0,04	2,69	2,33		
436	2,12	8,81	0,03	2,69	2,32		
452	2,12	9,22	0,03	2,69	2,32		
446	2,12	9,5	0,03	2,69	2,32		
434	2,12	9,52	0,03	2,69	2,32		
452	2,12	10,17	0,03	2,69	2,32		
426	2,12	10,53	0,03	2,69	2,32		
436	2,12	10,81	0,03	2,69	2,31		

fecha:	15 - novi 2:00pm				
viga:	A1.0-3				
Long. Desarrollo	Porcentajes de fibra				
	0	1.0	1.5	2.0	
A	25	A00-1	A1.0-1	A1.5-1	A2.0-1
B	50	B00-1	B1.0-1	B1.5-1	B2.0-1
C	75	C00-1	C1.0-1	C1.5-1	C2.0-1

Anexo 10 Resultados viga A1.5-2

CARGA		DEFORMIMETROS							Descripcion	
digital		Δ 1	Δ 2	Δ 3	Δ 4	Δ 5				
-	-	0	0,01	0	0	0				
-	-	0	0,01	0,9	0	2,51				
-	-	0	0,01	1,41	0	6,06				
-	-	0	0,01	1,85	0	8,56				
40	-	0	0,01	2,12	0	11,4				
64	-	0	0,01	2,98	0	13,2				
100	-	0	0,01	3,31	0,89	13,2				
100	-	0	0,01	3,56	1,17	13,21				
126	-	0	0,01	3,91	1,5	13,21				
165	-	0	0,01	4,2	3,95					
200	1	0	0,01	4,65	5,42					
220	1,25	0	0,01	4,68	5,42					
322	1,5	0	0,01	4,71	5,98					
468	1,75	0	0,02	4,71	6,14					
462	2	0	0,03	4,71	6,14					
530	2,12	0	0,04	4,71	6,25					
616	2,25	0	0,05	4,71	6,21					
682	2,5	0	0,07	4,71	6,08					
610	2,53	0	1,01	4,71	6,03					
652	2,56	0	1,55	4,71	6,03					
668	2,59	0	1,57	4,71	5,98					
614	2,62	0	1,62	4,69	5,96					
612	2,65	0	1,7	4,69	5,96					
612	2,68	0	1,92	4,69	5,96					
610	2,71	0	2,24	4,69	5,94					
668	2,74	0	2,96	4,69	5,93					
668	2,77	0	3,03	4,69	5,93					
708	2,79	0	3,93	4,69	5,91					
704	2,79	0	4,3	4,69	5,91					
650	2,8	0	4,91	4,69	5,91					
698	2,79	0	5,76	4,69	5,91					
668	2,78	0	6,64	4,69	5,91					
644	2,76	0	6,73	4,67	5,91					
618	2,75	0	7,67	4,67	5,91					
632	2,7	0	8,15	4,67	5,91					
593	2,68	0	8,8	4,67	5,91					
515	2,64	0	9,69	4,67	5,91					
592	2,62	0	10,44	4,67	5,94					
568	2,59	0	11,02	4,67	5,94					
570	2,56	0	11,72	4,67	5,94					
550	2,53	0	11,85	4,67	5,95					
535	2,5	0	12,72	4,67	5,96					
516	2,46	0	13,26	4,67	5,96					
510	2,43	0	13,26	4,65	5,96					
504	2,4	0	13,26	4,66	5,96					
456	2,37	0	13,26	4,64	5,97					
490	2,34	0	13,26	4,64	5,97					
506	2,31	0	13,26	4,64	5,97					
486	2,3	0	13,26	4,64	5,98					
478	2,25	0	13,26	4,64	5,98					
466	2,24	0	13,26	4,64	5,99					
458	2,23	0	13,26	4,64	5,99					
472	2,22	0	13,26	4,64	5,99					
470	2,2	0	13,26	4,64	5,99					
468	2,18	0	13,26	4,65	6					
454	2,16	0	13,26	4,65	6,01					
434	2,15	0	13,26	4,65	6,01					
423	2,14	0	13,26	4,65	6,02					
442	2,13	0	13,26	4,65	6,02					
436	2,12	0	13,26	4,65	6,02					
436	2,1	0	13,26	4,65	6,02					
432	2,09	0	13,26	4,65	6,02					

fecha/hora:	15 - nov 4:00pm				
viga:	A1.5 - 2				
Long. Desarrollo	0	1.0	1.5	2.0	
A	25	A00-1	A1.0-1	A1.5-1	A2.0-1
B	50	B00-1	B1.0-1	B1.5-1	B2.0-1
C	75	C00-1	C1.0-1	C1.5-1	C2.0-1

Anexo 11 Resultados viga A2.0-2

CARGA		DEFORMIMETROS					Descripcion
Digital		Δ 1	Δ 2	Δ 3	Δ 4	Δ 5	
20		0	0	0	0	0,01	
56		0	0	0,01	0,12	0,01	
140		0	0	0,14	0,12	0,34	
154		0	0	1	0,15	2,58	
152		0	0	1,24	0,17	3,93	
160		0	0	1,37	0,32	4,25	
264		0	0	1,58	0,4	4,29	
304		0	0	1,68	0,4	4,92	
362	1	0	0	1,75	0,56	5,49	
422	1,25	0	0	1,84	0,65	5,88	
492	1,25	0	0	1,92	0,75	6,33	
552	1,75	0	0	1,99	0,78	6,9	
582	2	0	0	2	0,8	7,45	
622	2,12	0	0	2,11	0,8	7,5	
654	2,18	0	0	2,2	0,81	8,23	
694	2,25	0	0	2,21	0,81	8,72	
690	2,37	0	0	2,32	0,81	8,77	
750	2,5	0	0	2,39	0,81	9,28	
810	2,62	0	0	2,42	0,82	9,39	
826	2,75	0	0	2,45	0,82	9,39	
868	2,83	0	0	2,5	0,82		
891	2,91	0,03	0	2,51	0,92		
910	3	0,08	0	2,58	0,92		
916	3,12	0,11	0	2,64	0,92		
929	3,25	0,15	0	2,68	0,92		
978	3,31	0,22	0	2,7	0,92		
996	3,37	0,32	0	2,75			
992	3,43	0,4	0	2,77			
1008	3,5	0,46	0	2,81			
1048	3,56	0,59	0	2,82			
1046	3,62	0,6	0	2,88			
1092	3,68	0,69	0	2,92			
1078	3,75	0,73	0	2,96			
1114	3,85	0,83	0	3			
1100	3,86	0,87	0	3,09			
1148	3,86	0,87	0	3,11			
1092	3,87	0,88	0	3,22			
1076	3,87	0,88	0	3,45			
1074	3,88	0,88	0	3,63			
1098	3,88	0,93	0	3,7			
1120	3,89	0,91	0	3,98			
1148	3,89	1,01	0	4,05			
1128	3,89	1,04	0	4,16			
1136	3,9	1,08	0	4,29			
1174	3,9	1,09	0	4,36			
1132	3,9	1,11	0	4,5			
1172	3,9	1,11	0	4,64			
1122	3,9	1,13	0	4,77			
1162	3,9	1,14	0	4,78			
1130	3,9	1,15	0	4,83			
1129	3,9	1,16	0	4,93			
1162	3,9	1,16	0	4,97			
1124	3,91	1,17	0	4,99			
1130	3,92	1,17	0	5,05			
1120	3,93	1,18	0	5,09			
1148	3,94	1,9	0	5,1			
1148	3,95	1,2	0	5,11			
1114	3,96	1,2	0	5,12			
1118	3,97	1,2	0	5,13			
1192	3,98	1,22	0	5,14			
1152	4	1,29	0	5,15			
1202	4,06	1,3	0	5,16			
1190	4,12	1,33	0	5,17			
1200	4,14	1,35	0	5,18			
1186	4,17	1,36	0	5,18			
1228	4,2	1,42	0	5,18			
1224	4,22	1,43	0	5,19			
1236	4,25	1,46	0	5,19			
1202	4,25	1,51	0	5,19			
1242	4,26	1,56	0	5,2			
1206	4,27	1,57	0	5,2			
1252	4,28	1,61	0	5,22			
1234	4,29	1,65	0	5,22			

fecha/hora:	20/02/2018 11:55pm				
viga:	A2.0-2				
Long. Desarrollo	Porcentajes de fibra				
	0	1.0	1.5	2.0	
A	25	A00-1	A1.0-1	A1.5-1	A2.0-1
B	50	B00-1	B1.0-1	B1.5-1	B2.0-1
C	75	C00-1	C1.0-1	C1.5-1	C2.0-1

Anexo 12 Resultados viga B0.0-2

CARGA		DEFORMIMETROS							Descripcion	
digital		Δ 1	Δ 2	Δ 3	Δ 4	Δ 5				
-			0	-0,04	0	0				
-			0	-0,04	1,12	0				
-			0	-0,04	1,32	0				
-			0	-0,04	1,64	0				
-	-0,01	0	-0,04	2,03	0					
-	-0,01	0	-0,04	2,15	0					
126	-0,01	0	0,39	2,17	0,73					
162	-0,01	0	0,98	2,19	2,18					
180	-0,01	0	1,19	3	2,53					
200	1	-0,01	0	1,45	3,33	3,51				
214	1,12	-0,01	0	1,72	3,42	4,28				
260	1,25	-0,02	0	2	3,19	4,59				
254	1,37	-0,02	0,01	2,37	3,23	5,21				
322	1,5	-0,03	0,01	2,45	3,25	6,16				
394	1,62	-0,04	0,03	2,5	3,28	6,57				
426	1,75	-0,05	0,03	2,69	3,28	7,1				
142	1,12	0,33	1,7	2,6	3,28	7,16				
142	1,12	0,33	1,7	2,57	3,3	7,17				
168	1,11	0,33	2,33	2,59	3,31	7,17				
186	1,11	0,33	2,59	2,61	3,34					
196	1,11	0,33	3,14	2,62	3,36					
194	1,1	0,33	3,99	2,64	3,35					
200	1,09	0,33	4,05	2,66	3,49					
206	1,09	0,33	4,53	2,66	3,59					
206	1,08	0,33	4,85	2,67	3,92					
206	1,08	0,33	4,91	2,67	4,17					
206	1,07	0,33	4,91	2,69	4,28					
210	1,07	0,33	4,91	2,69	4,43					
210	1,06	0,33	4,99	2,7	4,5					
210	1,06	0,34	5,74	2,71	4,61					
228	1,05	0,34	5,89	2,72	4,7					
236	1,05	0,33	6,76	2,76	4,2					
222	1,04	0,33	7,74	2,86	4,27					
214	1,04	0,34	7,79	2,88	4,22					
212	1,04	0,34	8,65	2,95	4,22					
216	1,03	0,33	9,58	2,98	4,22					
230	1,03	0,34	10,14	3	4,23					
220	1,03	0,34	10,53	3,16	4,24					
226	1,03	0,34	11,15	3,18	4,25					
236	1,02	0,34	11,45	3,24	4,26					
238	1,02	0,34	12,39	3,33	4,29					
226	1,02	0,34	12,91	3,4	4,29					
230	1,02	0,35	12,91	3,43	4,32					
244	1,01	0,35	12,91	3,51	4,32					
242	1,01	0,35	12,91	3,63	4,32					
242	1,01	0,35	12,91	3,6	4,33					
234	1	0,35		3,76	4,33					
228	1	0,35		3,82	4,33					
226	1	0,35		3,83	4,33					
66	1	0,35		3,83	4,33					
78	1	0,35		3,83	4,33					
82	1	0,35		3,83	4,33					
85	1	0,33		3,83	4,33					
90	1	0,33		3,85	4,33					

fecha/hora:	15 - nov 5:00pm				
viga:	B0.0-2				
Long. Desarrollo	Porcentajes de fibra				
	0	1.0	1.5	2.0	
A	25	A00-1	A1.0-1	A1.5-1	A2.0-1
B	50	B00-1	B1.0-1	B1.5-1	B2.0-1
C	75	C00-1	C1.0-1	C1.5-1	C2.0-1

Anexo 13 Resultados B1.0-1

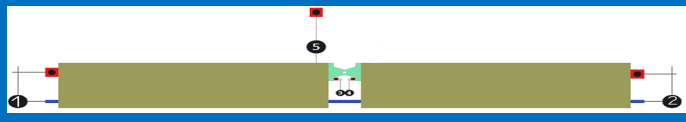
CARGA		DEFORMIMETROS					digital	Descripcion
		Δ 1	Δ 2	Δ 3	Δ 4	Δ 5		
-	1	0	0	0	0	0,72		
-	1,25	0	0,01	-0,03	0,04	1,52		
-	1,5	0	0,02	-0,05	0,1	1,71		
-	1,62	0	0,03	0,15	0,11	2,47		
-	1,75	0	0,03	0,15	0,11	3,3		
-	1,82	0	0,16	0,17	0,15	3,7		
-	1,9	0	0,16	0,2	0,15	4,24		
-	1,91	0	0,16	0,2	0,16	4,26		
-	1,93	0	0,16	0,2	0,16	4,27		
-	1,94	0	0,16	0,2	0,16	4,27		
-	1,96	0	0,16	0,2	0,16	4,27		
-	1,97	0	0,16	0,2	0,16	4,27		
-	1,98	0	0,16	0,2	0,16	4,28		
464	2	0	0,2	0,2	0,16	4,26		
462	2,05	0	0,21	0,21	0,17	5,08		
470	2,1	0	0,24	0,22	0,17	5,58		
522	2,12	0	0,25	0,23	0,18	6,33		
504	2,15	0	0,27	0,23	0,18	6,92		
546	2,2	0	0,29	0,23	0,18	6,93		
522	2,25	0	0,3	0,25	0,18	8,23		
522	2,28	0	0,3	0,25	0,18	8,25		
570	2,3	0	0,31	0,25	0,19	8,7		
554	2,32	0	0,34	0,26	0,19	9,59		
570	2,33	0	0,39	0,27	0,19	10,54		
566	2,35	0,05	0,4	0,27	0,19	11,02		
580	2,37	0,06	0,42	0,28	0,2	11,07		
585	2,38	0,1	0,42	0,28	0,2	11,07		
588	2,39	0,2	0,43	0,28	0,2	11,07		
588	2,4	0,49	0,46	0,28	0,2	11,08		
576	2,41	0,82	0,46	0,28	0,22	11,08		
554	2,41	0,85	0,48	0,28	0,23	11,08		
540	2,4	1,78	0,48	0,31	0,23	11,08		
530	2,43	1,85	0,48	0,31	0,24			
550	2,44	2,57	0,5	0,31	0,24			
534	2,45	2,63	0,49	0,31	0,25			
538	2,45	2,86	0,5	0,31	0,25			
548	2,46	3,46	0,55	0,33	0,25			
550	2,47	3,85	0,65	0,33	0,26			
538	2,47	4,3	0,65	0,35	0,26			
530	2,43	4,8	0,75	0,35	0,26			
544	2,4	5,17	0,82	0,35	0,27			
524	2,35	5,17	0,84	0,35	0,28			
522	2,32	5,39	0,84	0,35	0,29			
536	2,29	5,77	1	0,35	0,29			
518	2,25	6,08	1,02	0,34	0,3			
532	2,25	6,25	1,1	0,33	0,3			
532	2,25	6,72	1,15	0,33	0,3			
524	2,25	6,94	1,17	0,33	0,3			
518	2,25	7,1	1,22	0,33	0,3			

fecha:	16 Nov - 10:00				
viga:	B1.0 - 1				
Long. Desarrollo	Porcentajes de fibra				
	0	1.0	1.5	2.0	
A	25	A00-1	A1.0-1	A1.5-1	A2.0-1
B	50	B00-1	B1.0-1	B1.5-1	B2.0-1
C	75	C00-1	C1.0-1	C1.5-1	C2.0-1

Anexo 14 Resultados viga B1.5-2

CARGA		DEFORMIMETROS					Digital	Descripcion
		Δ 1	Δ 2	Δ 3	Δ 4	Δ 5		
	-					0		
	-					0		
	-			0,02	0,02	0,4		
	-			0,02	0,09	0,42		
	-			0,2	0,11	0,48		
	-			0,03	0,11	0,52		
	-			0,03	0,31	0,7		
	-			0,04	0,31	0,83		
148	-	0,01	0	0,04	0,41	1,37		
154	-	0,01	0	0,05	0,44	1,67		
172	-	0,01	0	0,06	0,48	2,32		
238	-	0,01	0	0,08	0,48	2,72		
234	1	0,01	0	0,09	0,5	3,25		
372	1,25	0,02	0	0,09	0,51	3,68		
394	1,5	0,03	0	0,11	0,56	4,53		
432	1,62	0,2	0	0,12	0,59	5,31		
416	1,7	0,21	0	0,13	0,6	5,39		
468	1,8	0,39	0	0,13	0,61	6,17		
488	1,86	0,42	0	0,14	0,61	7,02		
520	2	0,6	0	0,14	0,62	7,42		
524	2	0,71	0,15	0,14	0,62	7,83		
504	2	0,73	0,66	0,14	0,63	8,44		
534	2	0,39	0,76	0,14	0,63	9,17		
528	2	0,89	1,06	0,14	0,64	9,52		
550	2,1	0,93	1,14	0,14	0,64	9,74		
588	2,14	1,26	1,35	0,14	0,64	10,6		
534	2,16	1,86	1,39	0,15	0,64	11,42		
540	2,16	1,98	1,42	0,15	0,64	11,72		
556	2,16	2,32	1,43	0,16	0,64	12,13		
528	2,14	2,71	1,46	0,16	0,64	12,2		
458	2,14	3,21	1,49	0,16	0,64	12,2		
506	2,14	3,63	1,49	0,17	0,64	12,2		
464	2,04	4,14	1,5	0,17	0,64	12,2		
496	2,04	4,45	1,5	0,18	0,64	12,2		
478	2	4,65	1,49	0,2	0,64			
432	2,16	5,04	1,48	0,2	0,64			
478	2,16	5,11	1,48	0,2	0,64			
474	2,14	5,85	1,48	0,2	0,64			
440	2,14	6,71	1,48	0,21	0,64			
448	2,1	6,95	1,47	0,21	0,64			
406	2	7,62	1,47	0,21	0,64			
424	1,9	7,85	1,47	0,21	0,64			
388	1,82	8,45	1,47	0,21	0,64			
480	1,75	8,71	1,45	0,22	0,64			
332	1,75	9,14	1,47	0,22	0,64			
360	1,75	9,62	1,44	0,22	0,66			
372	1,75	10,39	1,43	0,22	0,66			
368	1,7	10,52	1,42	0,22	0,66			
362	1,7	11,36	1,39	0,22	0,66			
336	1,7	11,52	1,38	0,22	0,66			
326	1,62	12,31	1,3	0,22	0,66			
330	1,62	12,43	1,37	0,22	0,66			
324	1,62	12,43	1,37	0,22	0,66			

fecha/hora:	8 novi 2:00pm				
viga:	B1.5 - 3				
Long. Desarrollo	Porcentajes de fibra				
	0	1.0	1.5	2.0	
A	25	A00-1	A1.0-1	A1.5-1	A2.0-1
B	50	B00-1	B1.0-1	B1.5-1	B2.0-1
C	75	C00-1	C1.0-1	C1.5-1	C2.0-1

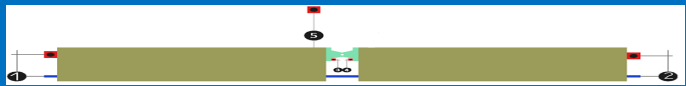


Anexo 15 Resultados viga C0.0-3

CARGA		DEFORMIMETROS					Descripcion
Digital		Δ 1	Δ 2	Δ 3	Δ 4	Δ 5	
264	1	0	0,06	1,6	0,01	2,4	
288	1	0	0,06	2,14	1,57	3,23	
278	1	0	0,06	2,17	1,79	3,73	
319	1	0	0,06	2,33	1,81	4,01	
326	1	0	0,06	2,4	1,85	4,78	
354	1,1	0	0,06	2,4	1,86	5,3	
342	1,1	0,16	0,06	2,25	1,87	6,2	
292	1,1	0,16	0,06	2,25	1,7	6,29	
282	1,12	0,16	0,06	2,25	1,7	6,31	
282	1,13	0,16	0,06	2,25	1,7	6,31	
310	1,15	0,16	0,06	2,26	1,71	9,4	
318	1,15	0,16	0,06	2,25	1,73	10,59	
312	1,15	0,16	0,06	2,26	1,73	10,93	
296	1,15	0,16	0,09	2,26	1,72	10,93	
314	1,2	0,16	0,09	2,26	1,72	10,93	
298	1,2	0,16	0,1	2,26	1,72	10,96	
290	1,2	0,16	0,15	2,26	1,72	11,02	
288	1,2	0,16	0,16	2,26	1,72	11,17	
290	1,35	0,41	0,21	2,26	1,72	11,31	
292	1,35	0,41	0,25	2,26	1,72	11,4	
278	1,4	0,41	0,29	2,26	1,72	11,44	0,2-0,35
260	1,4	0,41	0,31	2,26	1,72	11,51	paro digital
289	1,5	0,41	0,38	2,26	1,72	11,59	
298	1,55	0,41	0,73	2,24	1,72	11,66	
272	1,67	0,41	0,76	2,24	1,72	11,7	
272	1,75	0,41	0,76	2,24	1,72	11,76	
266	1,75	0,41	0,94	2,24	1,72	11,82	
262	1,74	0,4	1,15	2,24	1,72	11,89	
268	1,74		1,3	2,24	1,72	11,9	
252	1,7		1,5	2,24	1,72	11,98	
250	1,7		1,79	2,24	1,72	12	
262	1,7		2,04	2,24	1,72	12,1	
246	1,7		2,17	2,24	1,72	12,18	
244	1,6		2,2	2,24	1,72	12,18	
242	1,6		2,77	2,24	1,72	12,2	
246	1,65		2,91	2,24	1,72	12,25	
244	1,65		3,21	2,24	1,72	12,31	
242	1,6		3,52	2,24	1,72	12,34	
244	1,5		3,54	2,24	1,72	12,39	
254	1,5		3,54	2,24	1,72	12,41	
240	1,5		3,6	2,24	1,72	12,47	
250	1,5		3,79	2,23	1,72	12,48	
244	1,45		3,91	2,22	1,72	12,48	
246	1,35		4,26	2,22	1,72		
244	1,35		4,42	2,22	1,72		
242	1,35		4,69	2,22	1,72		
232	1,3		5,01	2,21	1,72		
230	1,3		5,67	2,2	1,72		
226	1,28		5,67	2,19	1,71		
236	1,28		5,81	2,19	1,71		
222	1,25		6,12	2,18	1,71		
224	1,25		6,48	2,16	1,71		
234	1,2		6,77	2,14	1,71		
232	1,2		6,92	2,13	1,71		
230	1,2		7,15	2,1	1,71		
220	1,2		7,47	2,09	1,71		
216	1,2		7,67	2,07	1,69		
226	1,18		7,82	2,03	1,69		
214	1,19		8,11	2,02	1,69		
216	1,19		8,4	2,01	1,69		
222	1,15		8,56	1,98	1,69		

fecha/hora: 01/11/2017 10:48-10:47
 viga: C0.0-3

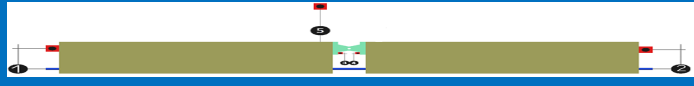
Long. Desarrollo	Porcentajes de fibra			
	0	1.0	1.5	2.0
A 25	A00-1	A1.0-1	A1.5-1	A2.0-1
B 50	B00-1	B1.0-1	B1.5-1	B2.0-1
C 75	C00-1	C1.0-1	C1.5-1	C2.0-1



Anexo 16 Resultados viga C1.0-2

CARGA		DEFORMIMETROS					Descripcion
Digital		Δ 1	Δ 2	Δ 3	Δ 4	Δ 5	
64	-	0,1	0,02	0	0,03	0	
64	-	0,1	0,02	0	0,04	0	
66	-	0,1	0,02	0	0,2	0	
78	-	0,1	0,02	0	0,2	0	
104	-	0,1	0,02	0	0,29	0	
108	-	0,1	0,02	0	0,29	0	
104	-	0,1	0,02	0	0,44	0	
114	-	0,1	0,02	0	0,47	0	
120	-	0,1	0,02	0	0,53	0	
130	-	0,1	0,02	0	0,53	0	
146	-	0,1	0,02	0	0,56	0	
146	-	0,1	0,02	0,01	0,62	0,03	
148	-	0,1	0,02	0,03	0,62	0,04	
178	-	0,1	0,02	0,09	0,62	0,06	
200	-	0,1	0,02	0,1	0,63	0,07	
202	-	0,1	0,02	0,15	0,63	0,09	
238	-	0,1	0,02	0,21	0,63	0,19	
274	-	0,1	0,02	0,23	0,64	0,3	
272	-	0,09	0,02	0,32	0,64	0,37	
314	-	0,09	0,02	0,37	0,64	0,45	
368	-	0,09	0,02	0,41	0,56	0,55	
354	-	0,05	0,02	0,54	0,65	0,69	
418	-	0,05	0,02	0,62	0,65	0,85	
422	-	0	0,02	0,64	0,66	1,06	
434	-	0	0,02	0,65	0,66	1,18	
472	-	0	0,02	0,66	0,66	1,52	
470	-	0,03	0,02	0,71	0,66	1,82	
514	1	0,04	0,02	0,73	0,66	1,83	
538	1,06	0,08	0,02	0,77	0,66	1,88	
526	1,12	0,08	0,02	0,8	0,66	1,98	
580	1,18	0,08	0,02	0,84	0,66	2,07	
566	1,25	0,11	0,02	0,9	0,66	2,14	
578	1,37	0,12	0,02	0,95	0,66	2,32	
528	1,5	0,12	0,02	0,98	0,66	2,43	
500	1,58	0,12	0,02	0,99	0,66	2,52	
490	1,66	0,12	0,06	1,07	0,66	2,8	
498	1,75	0,12	0,07	1,11	0,66	3,03	
484	1,83	0,12	0,22	1,12	0,66	3,17	
488	1,91	0,12	0,25	1,2	0,66	3,21	
506	2	0,12	0,29	1,23	0,66	3,52	
506	2,06	0,12	0,45	1,27	0,66	4,02	
488	2,12	0,12	0,51	1,3	0,66	4,12	
506	2,18	0,12	0,85	1,3	0,66	4,7	
514	2,25	0,12	1,02	1,36	0,66	4,93	
494	2,25	0,12	1,06	1,36	0,67	5,24	
510	2,26	0,12	1,63	1,38	0,67	5,85	
506	2,27	0,12	2,18	1,42	0,67	5,97	
504	2,28	0,12	2,27	1,42	0,67	6,46	
456	2,29	0,12	2,74	1,44	0,67	6,75	
466	2,3	0,12	3,12	1,45	0,67	7,03	
470	2,3	0,12	3,27	1,45	0,67	7,84	
464	2,31	0,12	3,56	1,45	0,67	7,87	
468	2,31	0,12	4,05	1,45	0,67	8,38	
468	2,32	0,12	4,2	1,45	0,67	8,94	
456	2,33	0,12	4,44	1,45	0,67	9,04	
460	2,34	0,11	4,86	1,45	0,67	9,81	
444	2,35	0,11	5,12	1,45	0,67	10,07	
440	2,36	0,11	5,25	1,45	0,67	10,23	
454	2,37	0,12	5,98	1,45	0,67	10,55	
454	2,35	0,1	6,07	1,45	0,67	11,08	
446	2,34	0,11	6,56	1,45	0,67	11,22	
448	2,33	0,11	6,9		0,67		
446	2,32	0,11	6,91		0,67		
442	2,31	0,1	6,91		0,67		
422	2,3	0,1	6,91		0,67		
396	2,25	0,09	7,03		0,67		
388	2,25	0,12	7,03		0,67		

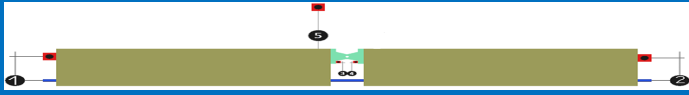
fecha/hora:	01/11/2017 2:02-2:04				
viga:	C1.0-2				
Long:	Porcentajes de fibra				
Desarrollo	0	1.0	1.5	2.0	
A	25	A00-1	A1.0-1	A1.5-1	A2.0-1
B	50	B00-1	B1.0-1	B1.5-1	B2.0-1
C	75	C00-1	C1.0-1	C1.5-1	C2.0-1



Anexo 17 Resultados viga C1.5-2

CARGA		DEFORMIMETROS					Digital	Descripcion
		Δ 1	Δ 2	Δ 3	Δ 4	Δ 5		
26	-	0,01	0	0	0	0		
130	-	0,03	0	0	0	0		
126	-	0,05	0	0	0,3	0		
146	-	0,06	0	0	0,47	0		
150	-	0,07	0,01	0	0,47	0		
170	-	0,12	0,05	0,02	0,64	0,56		
186	-	0,23	0,06	0,29	0,64	0,95		
202	-	0,37	0,06	0,34	0,7	1,24		
220	-	0,48	0,06	0,38	0,95	1,57		
226	-	0,65	0,05	0,39	1,11	1,87		
238	-	0,84	0,05	0,42	1,11	2,28		
240	1	1,04	0,05	0,56	1,24	2,87		
250	1,3	1,28	0,02	0,63	1,37	3,49		
254	1,06	1,57	0,02	0,7	1,47	4,12		
260	1,08	1,85	0,02	0,77	1,63	4,72		
264	1,1	2,07	0,03	0,81	1,71	5,34		
252	1,12	2,25	0,05	0,87	1,71	6,31		
254	1,13	2,5	0,07	0,93	1,79	6,91		
268	1,16	2,83	0,09	0,95	1,89	7,83		
266	1,18	3,14	0,09	0,99	1,98	8,08		
260	1,2	3,5	0,1	1	1,99	8,75		
216	1,24	3,66	0,11	1,02	2	9,45		
216	1,25	3,67	0,11	1,02	2,01	9,78		
236	1,25	3,83	0,11	1,02	2,02			
234	1,25	4,15	0,12	1,02	2,09			
236	1,25	4,44	0,11	1,02	2,09			
234	1,25	4,83	0,11	1,02	2,1			
228	1,25	5,19	0,12	1,02	2,1			
224	1,25	5,59	0,11	1,02	2,1			
212	1,3	6,35	0,11	0,99	2,1			
224	1,38	6,57	0,11	0,99	2,1			
218	1,4	6,79	0,11	0,99	2,1			
220	1,37	7,45	0,11	0,99	2,1			
222	1,35	7,81	0,11	0,99	2,11			
218	1,34	8,16	0,11	0,99	2,11			
216	1,36	8,59	0,1	0,99	2,11			
214	1,37	9,11	0,11	0,99	2,11			
214	1,37	9,54	0,11	0,99	2,11			
214	1,35	9,93	0,1	0,98	2,11			
214	1,34	10,36	0,1	0,98	2,11			
203	1,36	10,59	0,1	0,97	2,11			
208	1,37	10,87	0,1	0,96	2,11			
208	1,37	10,87	0,1	0,95	2,11			
208	1,35	10,87	0,1	0,94	2,11			
212	1,34	10,87	0,1	0,92	2,11			
212	1,36	10,87	0,1	0,9	2,12			
202	1,37	10,87	0,1	0,89	2,12			
212	1,37	10,87	0,1	0,88	2,12			
212	1,35	10,87	0,1	0,86	2,13			
196	1,34	10,87	0,1	0,85	2,13			
198	1,36	10,87	0,09	0,83	2,13			
194	1,37	10,87	0,09	0,82	2,13			
194	1,35	10,87	0,09	0,81	2,13			
192	1,34	10,87	0,09	0,81	2,13			
192	1,36	10,87	0,09	0,8	2,13			
190	1,37	10,87	0,09	0,8	2,13			

fecha/hora:	02/11/2017 12:00-12:01-12:02			
viga:	C1.5-2			
Long. Desarrollo	Porcentajes de fibra			
	0	1.0	1.5	2.0
A 25	A00-1	A1.0-1	A1.5-1	A2.0-1
B 50	B00-1	B1.0-1	B1.5-1	B2.0-1
C 75	C00-1	C1.0-1	C1.5-1	C2.0-1



Anexo 18 Resultados viga C2.0-1

CARGA		DEFORMIMETROS							Descripcion	
Digital		Δ 1	Δ 2	Δ 3	Δ 4	Δ 5				
22	-	0,03	0			0,5				
24	-	0,04	0							
34	-	0,05	0	0,08						
44	-	0,06	0	2,08	2,2	0,67				
46	-	0,06	0	2,24	2,23	1,3				
46	-	0,06	0	2,25	2,26	1,93				
46	-	0,06	0	2,35	2,3	2,45				
56	-	0,06	0	2,39	2,4	3,54				
64	-	0,06	0	2,39	2,5	4,98				
86	-	0,06	0	2,39	2,9	5,2				
102	-	0,06	0	2,39	3,42	5,64				
100	-	0,06	0	2,39	3,45	5,77				
118	-	0,05	0	2,39	3,61	6,01				
130	-	0,05	0	2,39	3,61	6,21				
152	-	0,05	0	2,39	3,81	6,61				
164	-	0,05	0	2,39	3,93	7,32				
196	-	0,05	0	2,39	3,97	7,55				
226	-	0,05	0	2,39	4,11	8,11				
226	1	0,05	0	2,39	4,11	8,27				
236	1,12	0,04	0	2,39	4,27	9,18				
286	1,25	0,04	0	2,39	4,33	9,37				
330	1,3	0,04	0	2,39	4,41	10,25				
354	1,4	0,04	0	2,39	4,57	10,95				
364	1,5	0,09	0	2,39	4,62	11,32				
382	1,5	0,14	0	2,39	4,71	12,13				
334	1,51	0,19	0	2,39	4,71	12,25				
376	1,52	0,21	0	2,39	4,79					
390	1,53	0,27	0	2,39	4,87					
382	1,54	0,31	0	2,39	4,97					
382	1,55	0,51	0	2,39	5					
404	1,56	0,52	0	2,39	5					
408	1,57	0,55	0	2,39	5					
386	1,58	0,56	0,35	2,39	5					
396	1,59	0,62	0,78	2,39	5					
408	1,59	0,62	1,2	2,39	5					
382	1,6	0,63	1,74	2,39	5,41					
386	1,6	0,63	2,08	2,39	5,43					
382	1,6	0,62	2,18	2,39	5,5					
398	1,6	0,62	2,68	2,39	5,55					
376	1,6	0,62	2,93	2,39	5,55					
380	1,6	0,62	3,08	2,39	5,58					
384	1,6	0,6	3,98	2,39	5,58					
384	1,6	0,58	3,59	2,39	5,58					
388	1,6	0,58	3,89	2,39	5,58					
374	1,6	0,57	4,09	2,39	5,58					
378	1,6	0,55	4,54	2,39	5,58					
390	1,6	0,53	4,92	2,39	5,58					
374	1,6	0,53	4,98	2,38	5,58					
380	1,6	0,51	5,19	2,38	5,59					
385	1,6	0,5	5,44	2,37	5,59					
375	1,6	0,47	5,87	2,37	5,6					
370	1,6	0,45	5,97	2,35	5,61					
372	1,6	0,45	6,36	2,33	5,62					
390	1,6	0,43	6,68	2,31	5,62					
368	1,6	0,43	6,84	2,3	5,63					
372	1,6	0,43	7,3	2,28	5,63					
386	1,6	0,44	7,78	2,28	5,64					
366	1,6	0,44	7,98	2,27	5,65					

fecha/hora:	8 novi 10:00pm			
viga:	C2.0-1			
Long. Desarrollo	Porcentajes de fibra			
	0	1.0	1.5	2.0
A 25	A00-1	A1.0-1	A1.5-1	A2.0-1
B 50	B00-1	B1.0-1	B1.5-1	B2.0-1
C 75	C00-1	C1.0-1	C1.5-1	C2.0-1