

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LA FIBRA POLIMÉRICA PARA REFORZAR
CONCRETO “POLIFIBRA” DE POLYALTEC LTDA

JUAN DAVID MESA GIRALDO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2.017

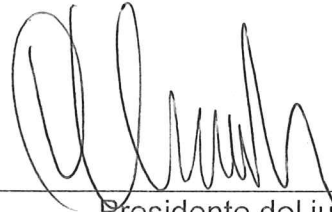
CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LA FIBRA POLIMÉRICA PARA REFORZAR
CONCRETO "POLIFIBRA" DE POLYALTEC LTDA

JUAN DAVID MESA GIRALDO

Proyecto integral de grado para optar el título de
INGENIERO MECÁNICO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2.017

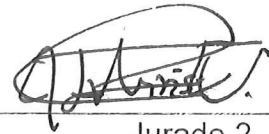
Nota de aceptación:



Presidente del jurado
Ing. Álvaro Romero Suárez



Jurado 1
Ing. Oscar Mauricio Ochoa Álvarez



Jurado 2
Fis. Jairo Andrés Coral Campaña

Bogotá D.C. 22 Marzo, 2.017

DIRECTIVAS DE LA FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrado

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Secretario General

Dr. Juan Carlos Posada García-Peña

Decano de la Facultad de Ingenierías

Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director Programa Ingeniería Mecánica

Ing. Carlos Mauricio Veloza Villamil

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

El presente documento es dedicado primeramente a Dios por permitirme tener la oportunidad de acceder a este proceso de formación profesional, segundo a mi grandiosa familia por darme el apoyo necesario para convertirme en una mejor persona y finalmente a todos mis amigos y compañeros que estuvieron presentes en este desarrollo.

Juan David Mesa Giraldo

Agradezco a Dios por darme la oportunidad de permitirme culminar esta carrera profesional, a mis padres por el apoyo moral, ético y económico que me permitió seguir adelante con mis metas y objetivos, a Nathalia Ximena Arismendy Otálora por acompañarme en mi proceso de formación y culminación de mis estudios.

Juan David Mesa Giraldo

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	20
1. FIBRAS Y CONCRETOS	22
1.1 INTRODUCCIÓN A LAS FIBRAS	22
1.2 TIPOS DE FIBRAS	23
1.3 CLASIFICACIÓN DE LAS FIBRAS POR MATERIAL	23
1.3.1 Fibras sintéticas	23
1.3.2 Macrofibras sintéticas en el ensayo	24
1.3.3 Aplicaciones de las macro y microfibras	25
1.3.4 Fibras de vidrio	26
1.3.5 Fibras naturales	26
1.3.6 Fibras de polipropileno, vidrio y nylon	26
1.3.7 Fibras de acero	26
1.4 CLASIFICACIÓN SEGÚN SUS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS	27
1.5 CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS	29
1.5.1 Características del concreto reforzado con fibras	29
1.5.2 Propiedades del concreto reforzado con fibras	30
1.6 NORMAS PARA CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS	31
1.7 PROPIEDADES DE MEJORA AL CONCRETO	32
1.7.1 Tenacidad	32
1.7.2 Fisuración	33
1.7.3 Impacto	34
1.8 PARÁMETROS DE LA POLIFIBRA PARA REFUERZO DE CONCRETO	34
1.8.1 Forma	34
1.8.2 Dimensiones, Peso y color	36
2. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LA FIBRA	38
2.1 NORMATIVIDAD PARA EL PROCEDIMIENTO CON LA FIBRA	38
2.1.1 Ensayo a tensión	38
2.1.2 Ensayo a flexión	41
2.2 NORMATIVIDAD PARA EL PROCEDIMIENTO CON CONCRETO	42
2.2.1 Ensayo a compresión con cilindros	42
2.2.2 Ensayo a flexión con viguetas	45
2.2.3 Ensayo de fluidez con fibras	47
2.2.4 Ensayo de tenacidad a flexión	49
3. FUNDIDA Y CURADO DE CONCRETO	51
3.1 SELECCIÓN Y PREPARACIÓN DE MATERIALES	51
3.2 SELECCIÓN Y PREPARACIÓN DE MOLDES	56
3.3 PROPORCIONES Y MEZCLAS	59
3.3.1 Cilindros	59

3.3.2 Viguetas	60
3.3.3 Placa circular	62
3.4 AGREGADOS PARA EL CONCRETO	63
3.4.1 Agregados para cilindros	64
3.4.1.1 Para el cemento	64
3.4.1.2 Para la arena	65
3.4.1.3 Para la grava	65
3.4.1.4 Para el agua	66
3.4.2 Agregados para viguetas	66
3.4.2.1 Para el cemento	66
3.4.2.2 Para la arena	67
3.4.2.3 Para la grava	67
3.4.2.4 Para el agua	68
3.4.3 Agregados para placa circular	68
3.4.3.1 Para el cemento	68
3.4.3.2 Para la arena	69
3.4.3.3 Para la grava	69
3.4.3.4 Para el agua	70
3.5 PROCESO DE MEZCLADO	71
3.6 VACIADO DE MUESTRAS	73
3.6.1 Vaciado de cilindros	73
3.6.2 Vaciado de viguetas	74
3.6.3 Vaciado de panel redondo	75
3.7 CURADO INICIAL Y HASTA EL DESENCOFRE	76
4. ENSAYOS EN LABORATORIO	78
4.1 PRUEBA DE COMPRESIÓN DE CILINDROS	78
4.1.1 Cilindros 0% fibra	80
4.1.2 Cilindros 5% fibra	80
4.1.3 Cilindros 10% fibra	81
4.1.4 Cilindros 15% fibra	82
4.2 PRUEBA DE FLEXIÓN DE VIGUETAS	83
4.2.1 Vigueta 0% fibra en máquina sin strain gages	84
4.2.2 Vigueta 5% fibra en maquina sin strain gages	85
4.2.3 Vigueta 10% fibra en máquina sin strain gages	86
4.2.4 Vigueta 15% fibra en maquina sin strain gages	87
4.2.5 Viguetas con deflectómetro	87
4.3 PRUEBA DE TENSIÓN EN LA FIBRA	88
4.4 PRUEBA DE TENACIDAD A FLEXIÓN EN PANEL REDONDO	94
4.4.1 Falla de panel redondo reforzado 5% fibra	97
5. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	101
5.1 RESULTADOS PRUEBAS DE TENSIÓN EN LA FIBRA	101
5.1.1 Diagrama fuerza vs distancia entre cabecales	101
5.2 RESULTADOS PRUEBAS DE CONCRETO	102

5.2.1 Cilindros	103
5.2.2 Viguetas	103
5.3 FICHA TÉCNICA DE LA FIBRA	108
6. SIMULACIÓN	110
6.1 PROCEDIMIENTO	110
6.2 RESULTADOS GRÁFICOS	113
7. COMPARACIÓN DE COSTOS	115
8. CONCLUSIONES	116
9. RECOMENDACIONES	117
BIBLIOGRAFÍA	118
ANEXOS	120

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Especificaciones para construcción de probetas de tensión	39
Tabla 2. Requisitos para varillas compactadoras	43
Tabla 3. Requisitos de tamaño, tipo y moldeo	43
Tabla 4. Costo de fabricación $1,2m^3$ de placa con malla electrosoldada	115
Tabla 5. Costo de fabricación $1,2m^3$ de placa con POLYFIBRA	115

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Resultados de calibración con báscula	55
Cuadro 2. Proporciones de material por metro cúbico de concreto	63
Cuadro 3. Proporciones de material por bulto de cemento	64
Cuadro 4. Resultados de la prueba de tensión para las 5 muestras	101
Cuadro 5. Resumen falla de cilindros en laboratorio	103
Cuadro 6. Resumen falla de vigueta 0% fibra	103
Cuadro 7. Resumen falla de vigueta 5% fibra	104
Cuadro 8. Resumen falla de vigueta 10% fibra	104
Cuadro 9. Resumen falla de vigueta 15% fibra	105
Cuadro 10. Ficha técnica del material	108
Cuadro 11. Propiedades del material mixto	110
Cuadro 12. Resultados volumétricos obtenidos	113
Cuadro 13. Resultados gráficos	113

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Relación de aspecto Fibra metálica	28
Figura 2. Diferentes formas de fibras	28
Figura 3. Formas adicionales de fibras	29
Figura 4. Comportamiento del concreto reforzado con fibras metálicas	30
Figura 5. Esquema de espécimen ensayado a tracción pura	31
Figura 6. Curva de Carga (P) – desplazamiento (δ) para concreto reforzado (a) Bajo contenido de fibras, (b) Alto contenido de fibras	31
Figura 7. Dimensiones de probetas para ensayo de tensión	39
Figura 8. Dimensiones de probeta tubular	40
Figura 9. Carga para ensayo de flexión	41
Figura 10. Dimensiones y tolerancias de moldes	44
Figura 11. Máquina para flexión de viguetas de acuerdo a norma ASTM C31	46
Figura 12. Máquina de flexión de viguetas ASTM C42 y ASTM C78	47
Figura 13. Forma de colocar el cono de asentamiento invertido	48
Figura 14. Dimensiones de placa circular	49
Figura 15. Esquema del montaje para la prueba de tenacidad a flexión	50
Figura 16. Fabricación de muestras para tensión	89
Figura 17. Soporte para prueba de tenacidad	95
Figura 18. Dimensiones del soporte a fabricar	96

LISTA DE FOTOS

	pág.
Foto 1. Rodillos moldeadores de la fibra	35
Foto 2. Fibra de forma escalonada	35
Foto 3. Dimensiones de la polifibra	36
Foto 4. Peso de diez filamentos de fibra	36
Foto 5. Polifibra de POLYALTEC LTDA terminada y empaçada	37
Foto 6. Gravilla suministrada por DISTRIAGREGADOS S.A. de 3/4 pul	52
Foto 7. Arena suministrada por DISTRIAGREGADOS S.A.	52
Foto 8. Cemento Tequendama tipo 1 y Polifibra de POLYALTEC S.A.	53
Foto 9. Elementos para fundida y curado de concreto	54
Foto 10. Pesos calibrados (5 g - 500 g)	55
Foto 11. Camisas de cilindros 150 mm x 300 mm	56
Foto 12. Moldes en forma viguetas 520 mm x 150 mm x 150 mm	57
Foto 13. Soldadura de lámina galvanizada	58
Foto 14. Molde terminado para ensayo de tenacidad a flexión 800 mm x 75 mm	58
Foto 15. Proceso dosificación de agregados	70
Foto 16. Proceso de pesa de agregados	71
Foto 17. Proceso de mezcla sin presencia de fibra	72
Foto 18. Proceso de mezcla con presencia de fibra polimérica	72
Foto 19. Llenado y compactado de cilindro al primer tercio	73
Foto 20. Llenado y compactado de cilindro con fibra al primer tercio	74
Foto 21. Llenado de molde de vigueta terminado	74
Foto 22. Vaciado y conformado final de panel redondo con 5% de fibra	75
Foto 23. Fraguado de muestras por 28 días	76
Foto 24. Conformado final de muestras a 28 días	77
Foto 25. Máquina de compresión de cilindros y viguetas	79
Foto 26. Cilindro marcado 0% fibra	80
Foto 27. Cilindro marcado 5% fibra	80
Foto 28. Cilindro marcado 10% fibra	81
Foto 29. Cilindro marcado 15% fibra	82
Foto 30. Comparación de cilindro sin reforzar vs reforzado con fibra	83
Foto 31. Strain Gages marca Kyowa	84
Foto 32. Vigueta marcada 0% fibra	85
Foto 33. Vigueta marcada 5% fibra	85
Foto 34. Vigueta marcada 10% fibra	86
Foto 35. Vigueta marcada 15% fibra	87
Foto 36. Falla de viguetas con deflectómetro	88
Foto 37. Marcos para prueba de tensión	90
Foto 38. Marcos finales para ensayo de tensión	91
Foto 39. Sección Transversal de la fibra	92
Foto 40. Acanaladura de la fibra	92
Foto 41. Máquina para pruebas de tensión SHIMADZU	93

Foto 42. Secuencia de falla de la “polifibra”	94
Foto 43. Soporte fabricado para prueba	97
Foto 44. Montaje panel redondo para falla	98
Foto 45. Fractura en la parte superior	99
Foto 46. Fractura en la parte inferior	100

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Esquema de una curva esfuerzo vs deformación	34
Gráfica 2. Vistas inferior y frontal del resultado del modelo	111
Gráfica 3. Mallado general de la geometría	112
Gráfica 4. Mallado de la geometría de carga	112

LISTA DE DIAGRAMAS

	pág.
Diagrama 1. Fuerza vs separación entre cabezales del total de fibras falladas	102
Diagrama 2. Carga vs desplazamiento del cabezal viguetas 0%	105
Diagrama 3. Carga vs desplazamiento del cabezal viguetas 5%	106
Diagrama 4. Carga vs desplazamiento del cabezal viguetas 10%	106
Diagrama 5. Carga vs desplazamiento del cabezal viguetas 15%	107
Diagrama 6. Comparación muestras de viguetas	107

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Diseño de mezcla	121
Anexo B. Listado de precios CONTECON URBAR	131
Anexo C. Cotización y precios prueba tensión	137
Anexo D. Precios alquiler moldes cilindros y viguetas CONTECON URBAR	140
Anexo E. Carta autorización ingreso USTA	147
Anexo F. Cotización malla 15 X 15 de 4mm	149
Anexo G. Informe prueba de tensión	151

RESUMEN

En este proyecto se realizó una caracterización mecánica de la fibra polimérica para reforzar concreto “polifibra” de POLYALTEC LTDA, el cual inició con la evaluación del estado actual de los concretos reforzados con fibras.

Se seleccionó un diseño de mezcla de concreto de 210 kg/cm^3 (21 MPa), compuesto por grava de $\frac{3}{4}$ de pulgada, arena negra de cantera del Tolima y cemento tipo I marca Tequendama, el cual es utilizado para Cimientos, Placas o Losas, Columnas, Muros, Canales, Tanques y Pisos (tráfico liviano).

Se realizó un ensayo de resistencia de tensión a la “polifibra” para caracterizar el material que será utilizado como refuerzo de concreto.

Se obtuvo unas muestras de concreto reforzado con “polifibra” con porcentajes de refuerzo del 0%, 5%, 10% y 15% sumergidas y curadas en agua durante 28 días y posteriormente falladas en el laboratorio.

Se realizaron pruebas de laboratorio del concreto vs el concreto reforzado con “polifibra”, dando como resultado el aumento de las propiedades de resistencia a flexión y disminución de las propiedades de resistencia a compresión.

Se realizó un modelo y simulación en el software ANSYS del concreto reforzado, basándose en los resultados de las propiedades obtenidas en el laboratorio dando como resultado un material idealizado con propiedades mecánicas similares a las reales.

Se realizó un análisis de los resultados obtenidos de acuerdo con la caracterización de la fibra y la caracterización del concreto reforzado, obteniendo la ficha técnica tanto de la “polifibra” como del concreto reforzado.

Por último se realizó una comparación del costo de fabricación de un concreto con malla electrosoldada, con un concreto reforzado con “polifibra” para identificar el menor costo de fabricación entre los dos concretos reforzados.

Palabras clave: Caracterización, Concretos reforzados, Fibras para refuerzo.

INTRODUCCIÓN

La importancia de utilizar fibras en el concreto, proviene principalmente de lograr obtener resultados de propiedades tales como: bajo peso en su estructura, disminución del agrietamiento, reducción del costo en su producción y aumento de resistencia a esfuerzos tanto a compresión como a tracción, flexión y de impacto.

De acuerdo al origen de las fibras para reforzar concreto, se indagó que es uno de los materiales que fue implementado a mediados del siglo XX en la industria de la construcción, debido a su increíble aporte de resistencia al concreto a diferentes esfuerzos como de flexión, tracción, impacto y reducción de fisuración. “A diferencia del esfuerzo a compresión, debido a su flexibilidad por pertenecer a la familia de los materiales de naturaleza plástica. Por esta razón se ha creado un interés para combinar las propiedades de resistencia a compresión del concreto, con las propiedades de flexión de las fibras, dando origen a la implementación de los concretos reforzados con diferentes fibras y así poder reemplazar la malla electrosoldada”¹.

Este proyecto de grado tiene como objetivo realizar la “Caracterización mecánica de la fibra polimérica para reforzar concreto polifibra de POLYALTEC LTDA”. Por esta razón se seleccionaron los objetivos específicos que se listan a continuación:

- ✓ Evaluar el estado actual de los concretos, sus refuerzos y las características de las fibras
- ✓ Definir parámetros de diseño
- ✓ Caracterizar las propiedades mecánicas a tensión de la “polifibra”
- ✓ Realizar un concreto reforzado con “polifibra”
- ✓ Caracterizar el concreto reforzado con “polifibra” para tráfico liviano
- ✓ Realizar la simulación del concreto reforzado con fibra
- ✓ Realizar el análisis de resultados
- ✓ Evaluar financieramente el proyecto

El alcance principal del proyecto, consiste en desarrollar el diseño experimental para

1. CRISTINA, Patricia. Hormigones con Fibras de Acero Características Mecánicas Hormigones con Fibras de Acero Características Mecánicas. Master, 2010. p. 81.

caracterizar la fibra polimérica, y así obtener y analizar los resultados para poder fabricar un concreto con propiedades mecánicas superiores, al refuerzo con malla electrosoldada a partir de la fibra polimérica.

La metodología a utilizar será por medio de un análisis teórico y experimental describir, explicar y determinar las características propias de la “polifibra” utilizada como refuerzo en el concreto.

De igual manera el método sintético también será una herramienta crucial, ya que de acuerdo a las necesidades de procesar la información obtenida, indicará los ensayos correctos para así caracterizar la fibra.

El método tecnológico se encargará de realizar el trabajo práctico del proyecto, ya que al obtener información del funcionamiento de los bancos de prueba actualmente utilizados, serán indispensables para obtener los cálculos, probabilidades, y estadísticas del comportamiento de la fibra sometida a diferentes esfuerzos.

La aplicación principal que se generará con este proyecto, es generar un conocimiento acerca de las principales formas y tipos de fibras utilizadas para reforzar concreto producidas en materiales como: vidrio, metal, plástico y materiales compuestos.

Posteriormente se hará una recopilación de ensayos obtenidos de fuentes de investigación y normas vigentes, para realizar la caracterización de la fibra, suministrada por POLYALTEC LTDA y así poder determinar el aporte generado al de concreto e incentivar el interés para empresas de producción, diseño y fabricación de materiales para construcción.

1. FIBRAS Y CONCRETOS

A continuación se describe y se evalúa el estado actual de las fibras de refuerzo para concreto y sus características.

1.1 INTRODUCCIÓN A LAS FIBRAS

Las fibras actuando como refuerzo secundario, mejoran las características del concreto como es la resistencia a tracción, aportan mayor resistencia a cargas dinámicas y aumentan la resistencia al esfuerzo cortante.

De igual forma, con su inclusión se controla el proceso de fisuración, aumentando la resistencia a flexión, tracción y tenacidad, entendiéndose ésta como la capacidad del concreto para absorber energía hasta que se fracture.

Las fibras son un elemento presente en la construcción civil desde la antigüedad entre los casos más representativos tenemos;

- ✓ Pirámide Sakkara Egipto (2.500 AC)
- ✓ Muros en la Mesopotamia (1.400 AC)
- ✓ Muralla china (214 AC)
- ✓ Carreteras incas (214 DC)

Entre los materiales que han tenido usos estructurales similares al del concreto tales como el adobe, la tapia pisada, los morteros de cal entre otros; la fibra siempre ha estado presente. Las fibras vegetales son de uso obligado en la tapia pisada y el adobe, debido a que ayudan a asumir esfuerzos de tensión y le confieren así un mayor monolitismo (no fisuración a los elementos).

Probablemente el uso más extendido de las fibras como un componente más en materiales aglomerantes haya sido su uso en elementos como tejas o prefabricados de asbesto-cemento.

“En este caso las fibras de asbesto le conferían al material el monolitismo y la resistencia a la tensión buscada, sin embargo por consideraciones de salud estas fibras de asbesto han sido sustituidas por otras de diferentes materiales que no tienen ningún efecto sobre la salud humana”².

2. COSSIO, María Laura. Análisis del esfuerzo residual en concretos para pavimentos reforzados con fibras metálicas y sintéticas. 2012. p. 69.

1.2 TIPOS DE FIBRAS

- ✓ Micro fibras: Son fibras de plástico, polipropileno, polietileno o nylon, que ayudan a reducir la segregación de la mezcla de concreto y previenen la formación de fisuras durante las primeras horas de la colocación del concreto o mientras la mezcla permanece en estado plástico. Los mejores resultados se obtienen con fibras multifilamento, cuyas longitudes normalmente son menores a los 50 mm y se dosifican en el concreto entre $0,6 \text{ kg/m}^3$ y $1,2 \text{ kg/m}^3$
- ✓ Macro fibras: Son elaboradas de materiales variados, tales como acero, vidrio, sintéticos o naturales, fique y otros, los cuales se usan como refuerzo distribuido en todo el espesor del elemento y orientado en cualquier dirección. “Las fibras actúan como la malla electrosoldada y las varillas de refuerzo, incrementando la tenacidad del concreto y agregando al material, capacidad de carga posterior al agrietamiento”³
- ✓ Polifibras: Es una multi-fibra sintética plástica grafilada fabricada de poliolefinas y tereftalato de polietileno (PET), diseñada para su fácil incorporación al concreto gracias a su longitud de (5,5 cm) y a su forma. Reemplazando así las fibras metálicas y mallas electrosoldadas de refuerzo en diversos campos de construcción

Otro beneficio del concreto reforzado con fibras (CRF), es el incremento de resistencia al impacto. Adicionalmente, controlan la fisuración durante la vida útil del elemento y brindan mayor resistencia a la fatiga. Su diámetro oscila entre 0,25 mm y 1,5 mm, con longitudes variables entre 13 mm y 70 mm.

La más importante propiedad del CRF es la tenacidad, descrita como la capacidad de absorción de energía de un material, que se refleja en el concreto una vez se han presentado fisuras, momento en que las fibras trabajan como refuerzo.

1.3 CLASIFICACIÓN DE LAS FIBRAS POR MATERIAL

A continuación se describen los tipos de fibras utilizadas para reforzar concreto.

1.3.1 Fibras sintéticas. Secciones discretas que se distribuyen aleatoriamente dentro del concreto que pueden estar compuestas por acrílico, aramida, carbón, polipropileno, poliestileno, nylon, poliéster etc.

“Investigaciones realizadas en Estados Unidos, Canadá y Australia han comprobado que las fibras sintéticas (polietilenos y polipropilenos densos, entre

3. COSSIO, María Laura. Análisis del esfuerzo residual en concretos para pavimentos reforzados con fibras metálicas y sintéticas. 2012. p. 69.

otras) debidamente diseñadas, pueden usarse exitosamente como alternativa a la tradicional malla electro soldada”⁴.

En este caso, las fibras sintéticas se clasifican dentro del grupo de las macro fibras, cuyo efecto principal dentro del concreto es asegurar una tenacidad acorde con las necesidades del diseño estructural.

Al igual que las fibras metálicas, las macro fibras están diseñadas para mejorar las características mecánicas del concreto y se suministran en longitudes y diámetros distintos. La proporción de la mezcla depende de la longitud y el diámetro, pero las dosificaciones usualmente empleadas están comprendidas entre 1% y 2% en volumen (9 kg/m^3 a 18 kg/m^3), si bien existen aplicaciones con contenidos mínimos del 0,1%, o máximos del 8%, en volumen.

Para establecer con claridad cuáles son los elementos que se trabajarán, es importante configurar las características del concreto y de las fibras.

1.3.2 Macrofibras sintéticas en el ensayo. Las fibras sintéticas a emplear en el proyecto están clasificadas dentro del rango de MACROFIBRAS.

Para la realización del ensayo ASTM-1399 se utilizará la “polifibra” que es una macrofibra sintética diseñada para su uso en losas de concreto.

El material que compone la macrofibra es una mezcla de polipropileno recuperado al 40%, tereftalato de polietileno (PET) y finalmente un colorante para que al momento de la mezcla obtenga una apariencia visual homogénea la cual proporcionará al concreto mayor resistencia a flexión, resistencia al impacto y fatiga.

Características y ventajas de la macrofibra;

- ✓ Controla la contracción plástica
- ✓ Reduce segregación
- ✓ Minimiza la exudación (transpiración)
- ✓ Proporciona control de retracción plástica
- ✓ Excelente dispersión en el concreto

4. MARTÍNEZ, Edson. Evaluación del comportamiento frente a cargas laterales de elementos estructurales utilizados en mampostería confinada, mediante la sustitución del agregado grueso por fibras comerciales. Universidad de Carabobo, 2013. p. 50.

- ✓ Reducción de la permeabilidad
- ✓ Aumenta la resistencia a la flexión
- ✓ Resistencia a la corrosión
- ✓ Inoxidable
- ✓ Minimizador de desgaste en mangueras, bombas, tropos y mezcladores
- ✓ Aumenta la seguridad de manipulación
- ✓ Aislante eléctrico
- ✓ Reducción de fisuración

1.3.3 Aplicaciones de las macro y microfibras. Existen varias aplicaciones de este tipo de fibra en el mercado, las siguientes son las más representativas.

- ✓ Pavimentos
- ✓ Pisos industriales
- ✓ Elementos prefabricados
- ✓ Concretos lanzados

Actualmente en el diseño de juntas no se ha evidenciado que el uso de fibras reduzca o incremente el espaciamiento entre ellas, sin embargo algunos fabricantes han experimentado con y sin éxito la construcción de losas con y sin juntas.

El uso de fibras aumenta la resistencia a la tracción, lo cual en teoría permitiría aumentar la separación entre juntas, aun así se recomienda seguir utilizando la normatividad vigente para la modulación de las mismas.

“En cuanto a lo que tiene que ver con el diseño del pavimento, su espesor podría reducirse algunos parámetros. el tipo de suelo, la calidad del concreto y la contribución de las fibras, teniendo en cuenta la teoría de línea de fluencia donde se encuentran las propiedades del concreto lo cual podría presentar reducción en el espesor, pero acompañado también del incremento en la cantidad de fibra”⁵.

5. VASQUEZ,Mendoza, Analisis del esfuerzo residual en concretos para pavimentos reforzados con fibras metalicas y sinteticas.Vol 2. 2012. p. 69.

Las fibras pueden trabajar en climas calientes o fríos, ya que sus mayores aplicaciones están en climas fríos (puentes, paneles prefabricados, etc.) y en climas calientes se encuentran las aplicaciones de minería, con respecto a la resistencia al fuego ayudarán a reducir el explosivo potencial de desprendimiento de concreto, pero hay productos especiales en el mercado diseñados para este tipo de aplicaciones.

Las fluctuaciones de aire también pueden atribuirse a cambios en la caída real de concreto. Mezclas de hormigón que tienen bajos contenidos de cemento requieren de dosis más altas de fibra y la mezcla dará como resultado, generalmente en forma de "bolas de fibra".

1.3.4 Fibras de vidrio. Secciones reducidas de vidrio resistentes al álcali. Las mallas de fibra de vidrio poseen un amplio campo de aplicaciones. En el armado de revoques evitan las fisuras y microfisuras, ya que no se oxidan ni se degradan con el tiempo. Tienen gran estabilidad química, solidez y resistencia al fuego. Las mallas se tejen como las fibras textiles y son preparadas con un tratamiento antialcalino para hacerlas más resistentes.

1.3.5 Fibras naturales. Secciones discretas de origen como coco, sisal, madera, caña de azúcar, yute, bambú, etc. Cuyos diámetros varían entre 0,5 mm y 0,2 mm con valores de absorción superiores al 12%.

1.3.6 Fibras de polipropileno, vidrio y nylon. Estos materiales se usan como microfibras destinadas a prevenir la fisuración del concreto en estado fresco o durante edades tempranas debido a la retracción plástica.

Están diseñados para ser compatibles con el ambiente altamente alcalino del concreto reforzado; sin embargo, en su caso particular, las fibras de vidrio deben ser resistentes a los álcalis. Algunas fibras existentes en el mercado pueden contener aditivos destinados a combatir bacterias o aumentar el asentamiento. Normalmente se usan bajas dosificaciones en masa, de alrededor de 1 kg/m^3 .

1.3.7 Fibras de acero. Dependiendo del sistema de fabricación, hay fibras de diferentes tamaños, secciones, rugosidad superficial y formas. Pueden ser trefiladas en frío, cortadas o maquinadas. Su forma puede ser variable, recta, ondulada o con aplastamientos. Normalmente tienen deformaciones a lo largo de la fibra o en sus extremos.

Esta última modalidad es más eficaz para aumentar la adherencia en el concreto. Para comparar una fibra con otra se utilizan tres conceptos: relación de esbeltez, anclaje y resistencia a la tracción del alambre. Una forma fácil de comparar el desempeño de dos fibras, es revisando la relación de esbeltez (longitud/diámetro).

“Las dosificaciones de fibras de acero oscilan normalmente entre 15 kg/m^3 y, 25

kg/m^3 , para pisos convencionales.

En pisos sin juntas, normalmente se emplean dosificaciones mayores de $30 kg/m^3$ y para aplicaciones en concretos lanzados como los utilizados en túneles la dosificación es de $40 kg/m^3$ ⁶.

1.4 CLASIFICACIÓN SEGÚN SUS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

La fibra de acero es un producto que se caracteriza por sus formas geométricas dentro de las cuales predomina la longitud sobre las demás, puede ser de superficie pareja o trabajada, de forma rectilínea o doblada y es agregada de manera homogénea en la mezcla de concreto como refuerzo secundario.

Básicamente las fibras se caracterizan por la longitud (L), por la forma y por el diámetro como se aprecia en la figura 1.

De la relación entre longitud (L) y el diámetro (D) se obtiene la relación de aspecto, ($\gamma=L/D$).

- ✓ Longitud (L): Distancia entre los dos extremos de la fibra
- ✓ Diámetro (D): Es el diámetro transversal de la fibra
- ✓ Numero de fibras por kilogramo: “Se calcula con la siguiente fórmula”⁷:

$$\frac{N^{\circ}}{kg} = \frac{400000}{LD^2\pi\gamma}$$

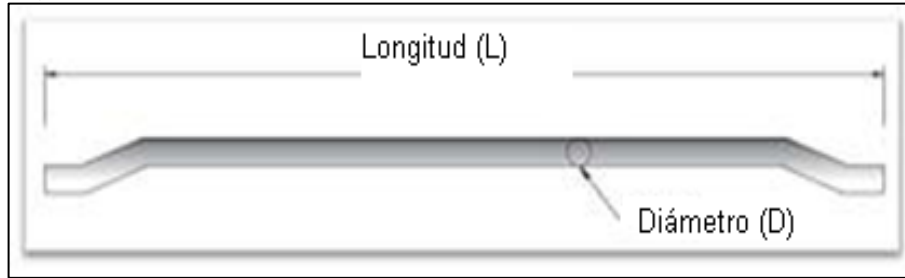
Donde;

L = Longitud de la fibra (mm)
D = Diámetro de la fibra (mm)
 γ = Peso específico (kg/m^3)

6. SIKA, Concreto reforzado con fibras. 2010. p. 6

7. MACCAFERRI, Bruno Luis. Manual Técnico. Fibras como elemento estructural para el refuerzo del hormigón 2005. p. 251.

Figura 1. Relación de aspecto Fibra metálica

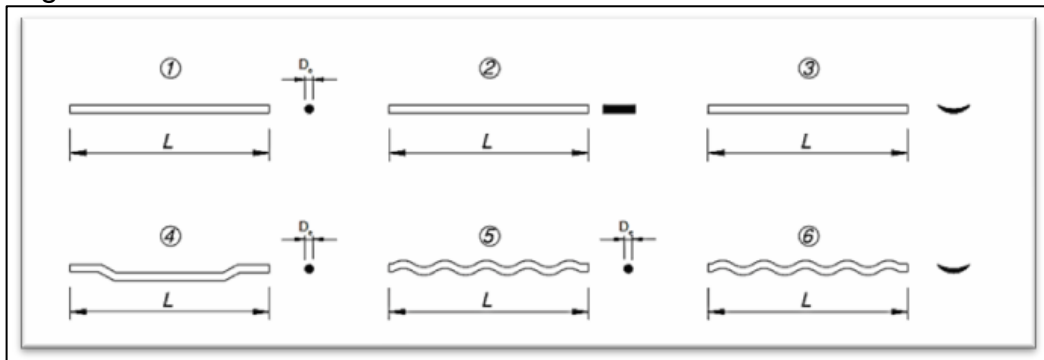


Fuente: MARSON FRANCO, Bruno Luis. Maccaferri. I Reunión del concreto 2010. Aplicación de microfibras en concretos y morteros.

- ✓ Relación de aspecto: Establece la esbeltez de la fibra ($\gamma=L/D$); para un mismo diámetro de la fibra, entre mayor sea el valor de su longitud, mayor será su esbeltez, por tanto, más ligera será la fibra
- ✓ Resistencia a la tracción: Se calcula dividiendo el esfuerzo a la rotura por el área de la sección transversal de la fibra

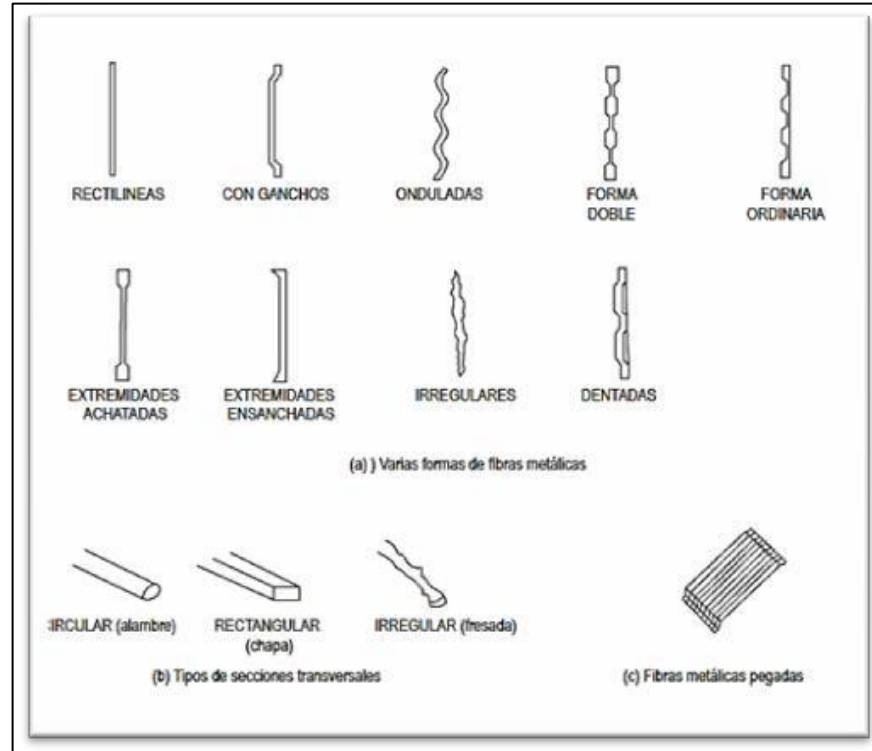
Axialmente, las fibras pueden tener sección circular, rectangular o variada. En las figuras 2 y 3, se presenta un ejemplo de varias formas de fibras.

Figura 2. Diferentes formas de fibras



Fuente: MARSON FRANCO, Bruno Luis. Maccaferri. I Reunión del concreto 2010. Aplicación de microfibras en concretos y morteros.

Figura 3. Formas adicionales de fibras



Fuente: MARSON FRANCO, Bruno Luis. Maccaferri. I Reunión del concreto 2010. Aplicación de microfibras en concretos y morteros.

1.5 CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS

Se describen las propiedades del concreto cuando se hace el refuerzo con fibras.

1.5.1 Características del concreto reforzado con fibras. Al adicionar fibras al concreto, bien sean macrofibras o microfibras, se obtiene un material con características mecánicas diferentes al concreto convencional.

Los factores que influyen en las propiedades de un concreto reforzado con fibras son las siguientes;

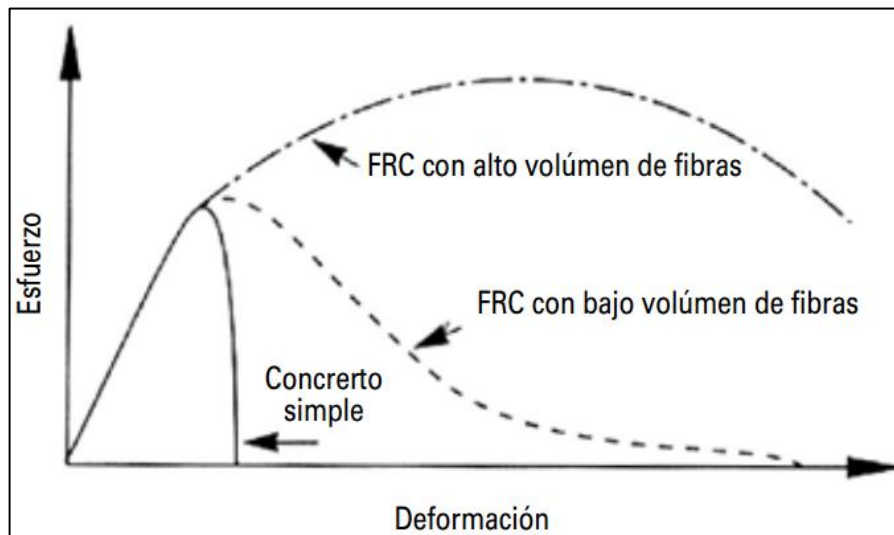
- ✓ Fibras: geometría, relación de aspecto, contenido, orientación y distribución
- ✓ Matriz: resistencia y dimensión máxima de los agregados
- ✓ Interfaz fibra-matriz
- ✓ Probetas: dimensiones, geometría y metodología de ensayo

1.5.2 Propiedades del concreto reforzado con fibras. Bajo cargas estáticas y dinámicas el concreto reforzado con fibras presenta las siguientes propiedades;

✓ Resistencia a compresión

Esta propiedad no presenta mayor variabilidad con respecto a la adición de fibras, una vez alcanza el pico (esfuerzo máximo) en la curva carga vs deformación presenta mayor ductilidad debido a la presencia de fibras como se muestra en la figura 4.

Figura 4. Comportamiento del concreto reforzado con fibras metálicas

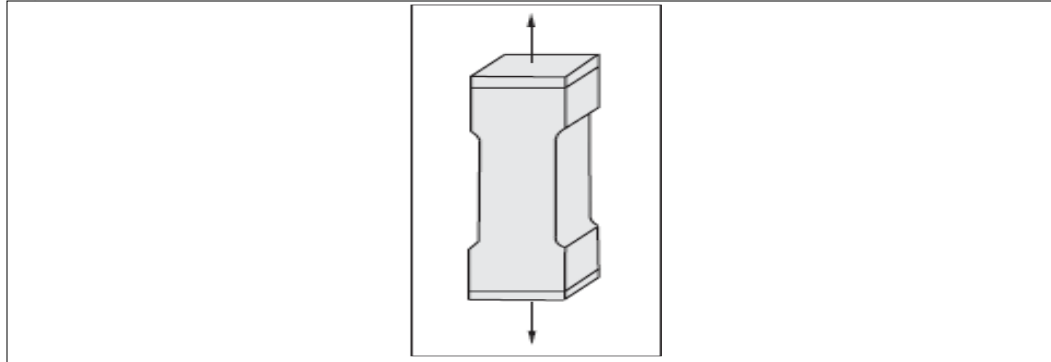


Fuente: <http://www.grupohym.com/wp-content/uploads/2016/03/Concreto-reforzado-con-fibras.pdf>

✓ Resistencia a tracción

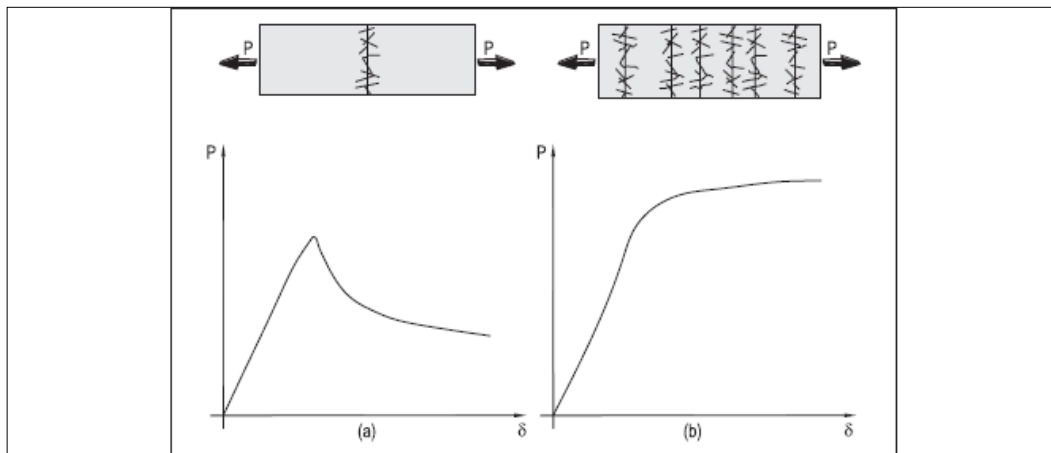
La tracción del concreto reforzado con fibras es importante en la fase del primer post fisuramiento en especial, las microfibras obteniendo incremento en el valor pico. Esto se ilustra en las figuras 5 y 6;

Figura 5. Esquema de espécimen ensayado a tracción pura



Fuente: MARSON FRANCO, Bruno Luis. Maccaferri. I Reunión del concreto 2010. Aplicación de microfibras en concretos y morteros.

Figura 6. Curva de Carga (P) – desplazamiento (δ) para concreto reforzado (a) Bajo contenido de fibras, (b) Alto contenido de fibras



Fuente: MARSON FRANCO, Bruno Luis. Maccaferri. I Reunión del concreto 2010. Aplicación de microfibras en concretos y morteros.

1.6 NORMAS PARA CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS

Las siguientes son las principales normas aplicables en la evaluación del concreto reforzado con fibras, teniendo en cuenta sus propiedades particulares;

- ✓ Asentamiento: NTC 3696
- ✓ Flexión: ASTM 1018
- ✓ Tenacidad: EFNARC-DE235 - ASTM 1550
- ✓ Resistencia residual: ASTM 1399
- ✓ Flexión: ASTM 1609

- ✓ Compresión: ASTM C31
- ✓ Tracción indirecta: ASTM C496
- ✓ Cantidad de fibras: JSCE N3
- ✓ Resistencia al impacto: ACI-5442R-89

1.7 PROPIEDADES DE MEJORA AL CONCRETO

A continuación se muestra la propiedad más importante que mejora en el concreto cuando se refuerza con fibra.

1.7.1 Tenacidad. La tenacidad se define como la capacidad de absorción de energía. Cuando la tenacidad del material es alta, ayuda a que la estructura incluso después del agrietamiento pueda seguir siendo cargada. La tenacidad es una propiedad que describe la capacidad de un material de soportar cargas antes de colapsar.

Un ejemplo que puede ilustrar mejor este concepto lo constituye un alambre y un caucho de la misma geometría (por ejemplo 10 cm de longitud). Si se toman los extremos del caucho con dos dedos de cada mano y se separan las manos el caucho se tensiona, si se aplica más carga separando más las puntas, el caucho se tensiona un poco más, pero al mismo tiempo su deformación aumenta. Si se continúa y separan aún más los extremos (equivalente a una carga externa) el caucho se deforma aún más y el nivel de tensión en él, también crecerá (al mismo tiempo crecen tensión y deformación). Así el nivel de esfuerzo que alcanza el caucho al momento de la falla es bajo porque la resistencia a la tensión del material es baja, pero la deformación del material ha sido bastante amplia abriendo completamente los brazos. Al repetir el mismo ejercicio con el alambre, se aplicará la misma acción o carga externa, es decir una fuerza que trata de abrir los brazos, mientras se sujeta el alambre en ambos extremos, el alambre se tensionará pero en vez de permitir una gran deformación se resiste y convierte dicha acción en un esfuerzo interno hasta que falla sin haberse deformado más de 0,5 mm. En este caso el esfuerzo interno del material es muy alto pero la deformación muy baja.

Si se habla solo en términos de esfuerzo, el material más resistente es el acero, puesto que el caucho incrementó su nivel de esfuerzo lentamente, ya que todo es deformación, y falla a una menor tensión respecto a la del caucho.

Para el valor de tensión al que el caucho falla, el alambre apenas es exigido, sin embargo para llegar a ese valor de esfuerzo el caucho tuvo que deformarse mucho, (prácticamente los brazos estaban totalmente extendidos), eso hace que el caucho sea capaz de resistir cargas más grandes sin fallar, puesto que las transforma en deformación.

Es decir el caucho tiene una gran capacidad de absorber cargas externas sin fallar convirtiéndolas en deformación. El acero también tiene una gran capacidad de absorber cargas externas sin fallar pero no las transforma principalmente en deformación sino en esfuerzo interno que es capaz de soportar.

“Para describir la capacidad de un material de absorber cargas externas es necesario tener en cuenta y de manera simultánea la capacidad del mismo tanto para deformarse como para resistir el esfuerzo frente a la acción de dicha carga”⁸.

La propiedad que cuantifica la doble acción de deformación y la capacidad de resistir un esfuerzo es la tenacidad, que es exactamente el producto de la resistencia y la deformación, que en la gráfica de esfuerzo vs deformación se traduce en el área bajo la curva.

Esto lleva a la definición donde una fuerza aplicada (carga) por distancia (deformación) es la energía ($\frac{E}{v} = \frac{F}{A} \times \frac{\Delta l}{\Delta l_0}$). La tenacidad es la capacidad de absorción de energía por unidad de volumen de un material.

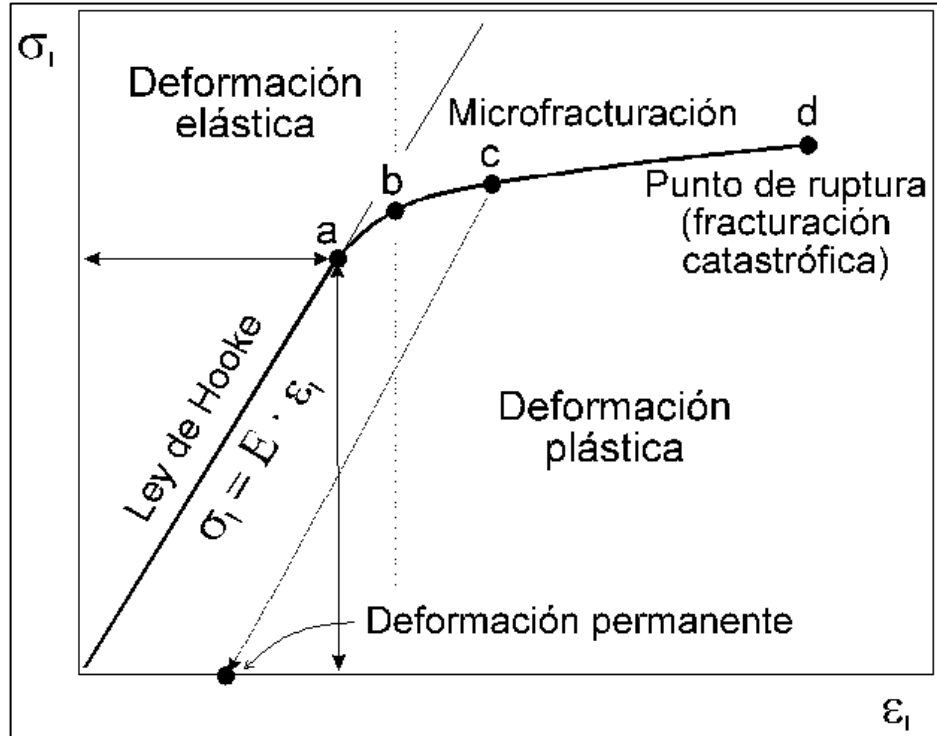
El concreto reforzado con fibras (con macro fibras), tiene una tenacidad muy superior al mismo concreto sin fibras. Sin embargo, si ambos concretos tienen la misma resistencia, para ser más tenaz, al concreto no le queda otra alternativa que deformarse más antes de la falla (tener un poco más el comportamiento de un caucho).

1.7.2 Fisuración. Esta propiedad de los concretos es bastante crucial al momento de aplicar cargas excesivas ya que el comportamiento que tienen los materiales cerámicos a este tipo de cargas es fracturarse aleatoriamente perdiendo la capacidad de soportar más carga.

De acuerdo con lo anterior, al adicionar fibra isotrópicamente a una muestra de concreto, la capacidad de la fibra, por sus propiedades como material polimérico, hace que se reduzca la cantidad de material cerámico, obteniendo como resultado un material compuesto con mayor flexibilidad, haciendo que la región plástica del material sea más amplia como se observa en la gráfica 1;

8. VASQUEZ, Mendoza, Analisis del esfuerzo residual en concretos para pavimentos reforzados con fibras metalicas y sinteticas, XXXIII.Vol 2. 2012. p. 69.

Gráfica 1. Esquema de una curva esfuerzo vs deformación



Fuente: <http://www.ugr.es/~agcasco/personal/restauración/teoria/TEMA05.htm>.

1.7.3 Impacto. Se habla del impacto cuando un material es sometido a un choque violento de un objeto en movimiento contra otro, el mejor ejemplo se puede dar cuando un proyectil hace colisión a gran velocidad contra un blanco determinado.

Esta propiedad de absorción de energía si se tiene un concreto reforzado con fibra es mejorada gradualmente dependiendo la cantidad de fibra adicionada al concreto, ya que la fibra se comporta como una red disipando los esfuerzos a través ella.

1.8 PARÁMETROS DE LA POLIFIBRA PARA REFUERZO DE CONCRETO

La POLYFIBRA suministrada por POLYALTEC pertenece a la familia de las macrofibras de la cual se describe a continuación sus propiedades físicas, como: forma, dimensiones, color y peso.

1.8.1 Forma. En el proceso de elaboración de la fibra son utilizados dos rodillos (foto 1), los cuales le dan forma escalonada como se muestra en la foto 2;

Foto 1. Rodillos moldeadores de la fibra



Foto 2. Fibra de forma escalonada



1.8.2 Dimensiones, Peso y color. Cada sección longitudinal de corte de la fibra, está dimensionada de la siguiente forma como se muestra en la foto 3;

- ✓ Diámetro (D): 1 mm
- ✓ Longitud (L): 60 mm
- ✓ Paso de escalonamiento (Pe): 4 mm
- ✓ Color: Tabaco
- ✓ Peso: 0,05 g (Foto 4.)

Foto 3. Dimensiones de la polifibra

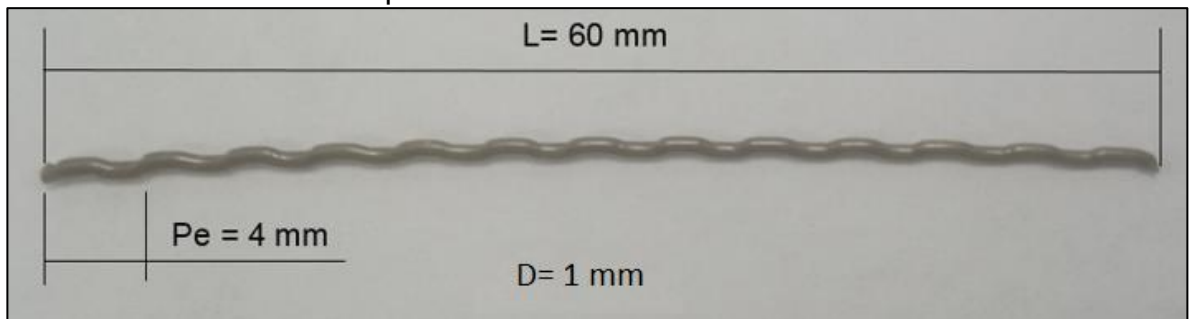


Foto 4. Peso de diez filamentos de fibra



Una vez se tiene el producto terminado POLYALTEC LTDA realiza el proceso de empaque en bolsas de 7 kg, para la distribución y venta al público como se muestra en la foto 5;

Foto 5. Polifibra de POLYALTEC LTDA terminada y empackada



2. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LA FIBRA

El proceso de caracterización mecánica de la fibra polimérica, consiste en evaluar las propiedades mecánicas del material, con el fin de identificar sus ventajas y desventajas.

Para obtener los datos de la presente caracterización es necesario hacer una serie de ensayos de laboratorio, conforme a las normas y procedimientos que específicamente apliquen, para así poder definir las propiedades mecánicas del material en mención.

2.1 NORMATIVIDAD PARA EL PROCEDIMIENTO CON LA FIBRA

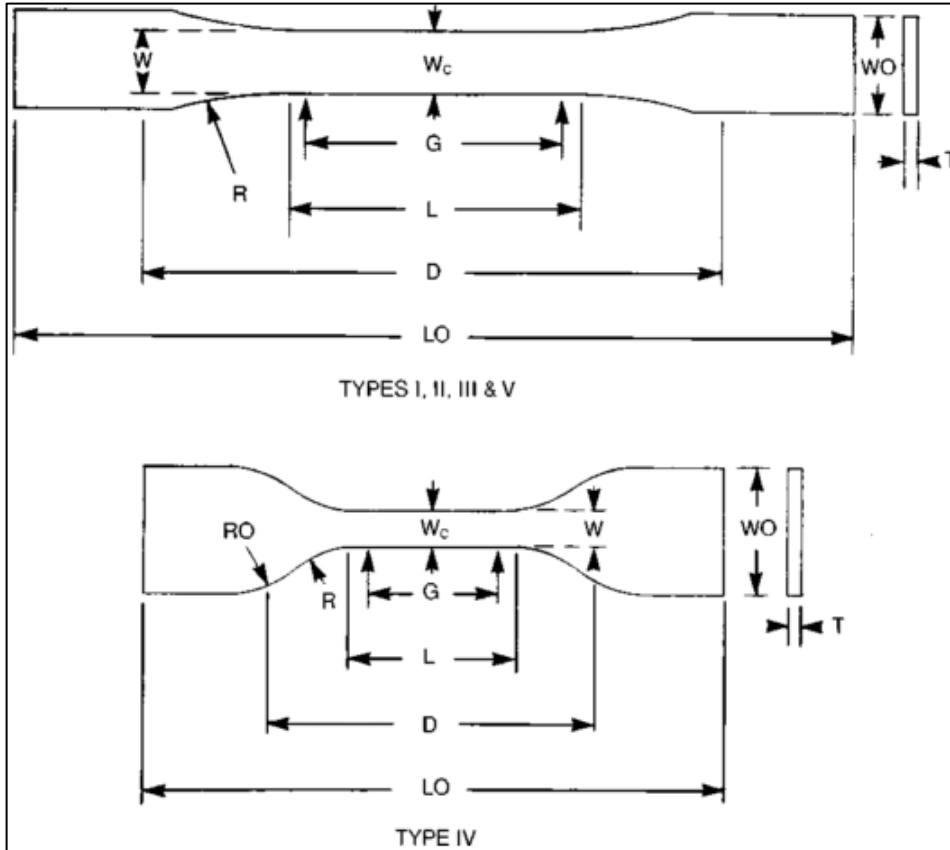
Las normas nacionales e internacionales que se consultaron, para definir la caracterización de la macrofibra polimérica para los diferentes esfuerzos de tensión y flexión se describen a continuación para así describir el procesamiento para caracterizar la fibra.

2.1.1 Ensayo a tensión. De acuerdo a la norma ASTM D638 que posee como título "Standard Test Method or Tensile Properties of Plastics"⁹, la cual muestra el método para determinar las propiedades de tensión de los plásticos y que consiste en fallar una probeta de un material plástico.

Las dimensiones dependen del tipo de máquina con la que se falle la probeta, pero la prueba está limitada, puesto que solamente admite muestras de espesores mayores a 14 mm, sin embargo si se cuenta con láminas de espesor de menos de 1,0 mm habría que referirse a la norma ASTM D882 que sería el método adecuado para este tipo de espesores, de acuerdo con lo anterior, se muestra en la figura 7 las dimensiones para el cumplimiento de la norma.

9.ASTM D 638, Standard test method for tensile properties of plastics, ASTM International. Designation. 2003. p. 8.

Figura 7. Dimensiones de probetas para ensayo de tensión



Fuente: ASTM D638: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. ASTM Stand. 1–15 (2004).

Ahora bien, en la tabla 1, se muestran las especificaciones y sus respectivas tolerancias para la construcción de estas probetas para el ensayo de tensión.

Tabla 1. Especificaciones para construcción de probetas de tensión

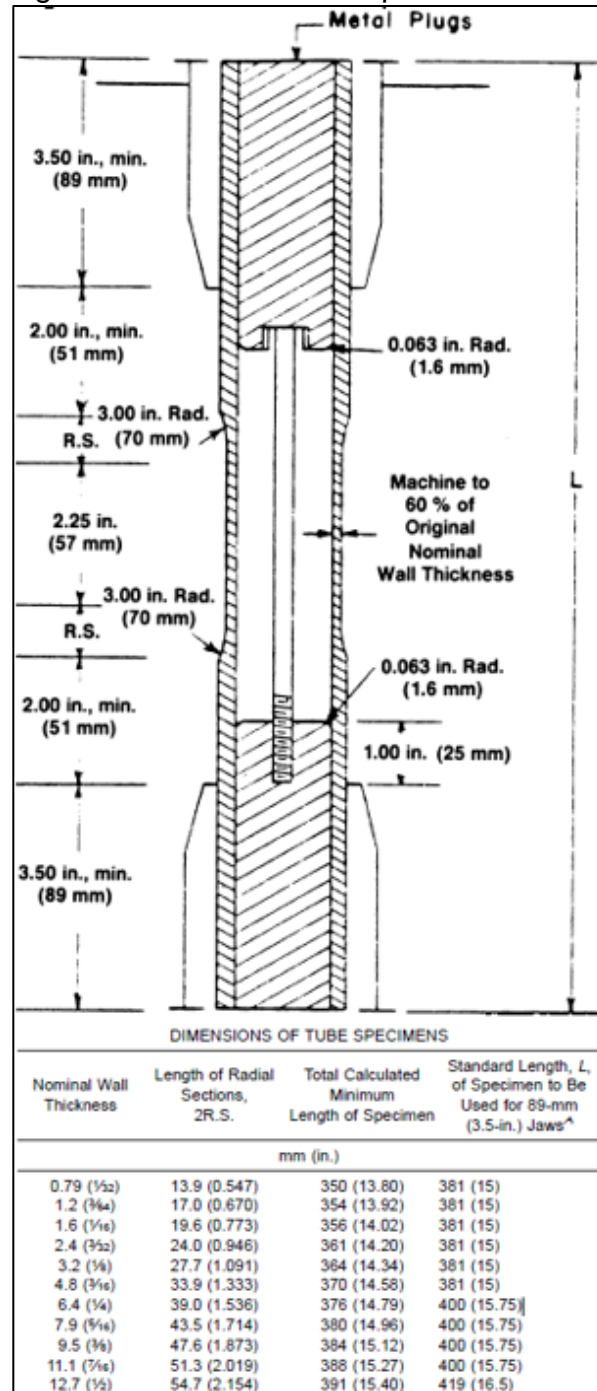
Dimensions (see drawings)	7 [0.28] or under		Over 7 to 14 [0.28 to 0.55], incl	4 [0.16] or under		Tolerances
	Type I	Type II	Type III	Type IV ^B	Type V ^{C,D}	
W—Width of narrow section ^{E,F}	13 [0.50]	6 [0.25]	19 [0.75]	6 [0.25]	3.18 [0.125]	±0.5 [±0.02] ^{B,C}
L—Length of narrow section	57 [2.25]	57 [2.25]	57 [2.25]	33 [1.30]	9.53 [0.375]	±0.5 [±0.02] ^C
WO—Width overall, min ^G	19 [0.75]	19 [0.75]	29 [1.13]	19 [0.75]	...	+ 6.4 [+ 0.25]
WO—Width overall, min ^G	...	...	...	...	9.53 [0.375]	+ 3.18 [+ 0.125]
LO—Length overall, min ^H	165 [6.5]	183 [7.2]	246 [9.7]	115 [4.5]	63.5 [2.5]	no max [no max]
G—Gage length ^I	50 [2.00]	50 [2.00]	50 [2.00]	...	7.62 [0.300]	±0.25 [±0.010] ^C
G—Gage length ^I	...	...	...	25 [1.00]	...	±0.13 [±0.005]
D—Distance between grips	115 [4.5]	135 [5.3]	115 [4.5]	65 [2.5] ^J	25.4 [1.0]	±5 [±0.2]
R—Radius of fillet	76 [3.00]	76 [3.00]	76 [3.00]	14 [0.56]	12.7 [0.5]	±1 [±0.04] ^C
RO—Outer radius (Type IV)	...	...	...	25 [1.00]	...	±1 [±0.04]

Fuente: ASTM D638: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. ASTM Stand. 1–15 (2.004).

Si no es posible la fabricación de las probetas para el ensayo de tensión con esta configuración, la norma propone una alternativa con probetas en forma tubular, sin

cambiar el resultado final del ensayo de tensión. Las dimensiones de esta alternativa se muestran en la figura 8.

Figura 8. Dimensiones de probeta tubular



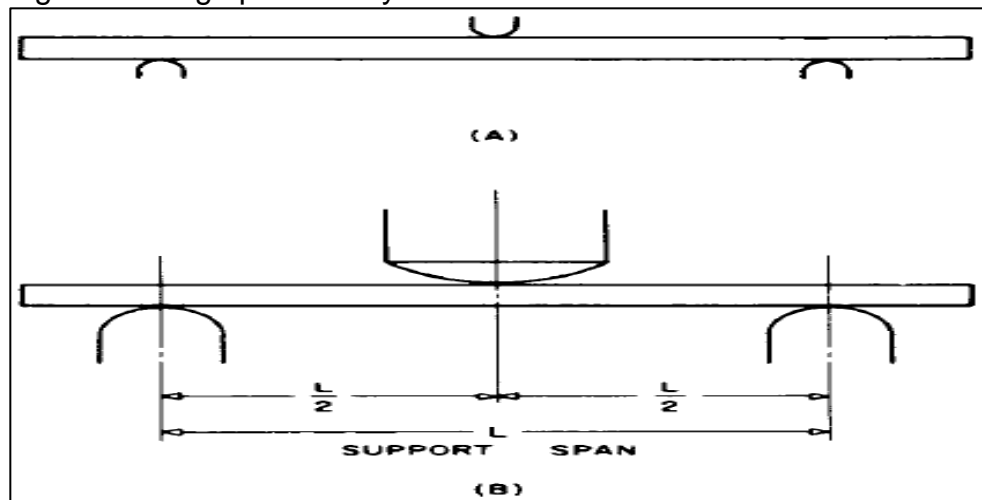
Fuente: Astm. ASTM D638: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. ASTM Stand. 1-15 (2004).

Finalmente si la sección transversal del espécimen es demasiado reducida, es decir del orden de 1 mm a 4 mm de sección transversal, es necesario utilizar otro tipo de ensayo con el mismo propósito y para este caso habrá que tener en cuenta la norma NTC 942 la cual lleva como título “MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES DE TENSIÓN DE LAMINAS PLÁSTICAS DELGADAS”, y está homologada con la norma ASTM D3379 que lleva como título “Standard Test Method for Tensile Strength and Young’s Modulus Single-Filament Materials”.

2.1.2 Ensayo a flexión. Este ensayo es utilizado básicamente para determinar las propiedades de un material sometido a un esfuerzo de flexión. El método utilizado para determinar este esfuerzo lo define la norma ASTM D 790 la cual lleva como título “Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials”¹⁰, y que en su contenido explica, cómo debe ser el procedimiento adecuado para determinar la máxima flexión de un material plástico, reforzado o sin reforzar, rígido o semirrígido, y que a su vez se utiliza como material adecuado para ser aislante eléctrico.

En resumen, el ensayo consiste en apoyar una barra en su sección transversal, en dos (2) soportes, cargada en su centro con una fuerza que se incrementa con una variación de 0,01 mm/min, deflactando el material, hasta el punto en que se fracture, para determinar en qué momento se hace notar el máximo esfuerzo que admite el material, antes de romperse como se muestra en la figura 9.

Figura 9. Carga para ensayo de flexión



Fuente: 2. ASTM D 790, Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials, ASTM International, 08.01 (2.000), 1-3.

10. ASTM D 790, Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials. 2000. p. 3.

Ahora bien, es necesario hacer esta prueba con cinco (5) muestras del mismo material, esto con el fin de reducir el margen de error del esfuerzo admisible del material y utilizando, algunas en posición longitudinal y otras en posición transversal.

2.2 NORMATIVIDAD PARA EL PROCEDIMIENTO CON CONCRETO

Para continuar con el procedimiento de caracterización de la fibra, es necesario evaluar el comportamiento del concreto, primeramente utilizando el concreto como comúnmente se mezcla (agua, arena, grava, cemento), posteriormente utilizando la fibra como aditivo en la mezcla para saber cuál es la resistencia de aporte al concreto.

2.2.1 Ensayo a compresión con cilindros. Esta prueba consiste en la elaboración de unas muestras de configuración cilíndrica con concreto como materia prima, de composición idéntica de niveles de asentamiento, contenido de aire y porcentajes de agregados.

Para este ensayo es de obligación consultar y tomar como parámetro principal la norma ASTM C 31 la cual posee como título “Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field”¹¹, y su norma homologada en Colombia “NTC 550”¹², que en su contenido explican y establecen los procedimientos para la evaluación de fraguado de muestras cilíndricas de concreto fresco para la construcción.

De acuerdo con esta prueba de ensayo, lo que se establece es la determinación del esfuerzo máximo que soporta el concreto en condiciones estándares, es decir la temperatura no debe sobrepasar la temperatura ambiente, que en este caso es de 15 C°, la humedad de igual manera deberá ser controlada, por la sumersión de los especímenes en agua, sin la incidencia directa de los rayos solares, y el contenido de aire se debe controlar por medio de un método de compactación, ya sea con un dispositivo vibratorio o por método de apisonamiento con una varilla compactadora de requisitos iguales como se muestra en la tabla 2.

11. ASTM COMMITTEE, C 31/C31M - 96. Standard practice for making and curing concrete test specimens in the field. p. 6.

12. ICONTEC, NTC 550. Elaboración de especímenes de concreto en obra. 2008. p. 5.

Tabla 2. Requisitos para varillas compactadoras

Diámetro del cilindro, mm	Dimensiones de la varilla		
	Diámetro de la varilla, mm	Longitud de la varilla, mm	Número de golpes/capa
< 150	10	300	25
150	16	600	25
200	16	600	50
250 ó mayores	16	600	75

Fuente: Instituto Colombiano De Normas Técnicas Y Certificación Icontec, «NTC 550 CONCRETOS. ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES DE CONCRETO EN OBRA», 200d. C., 14.

Para la elaboración de dichos especímenes, es necesario contar con una superficie rígida y nivelada y necesariamente cerca al sitio de almacenamiento. La fundida de los cilindros debe ser acorde con la selección y tipo de camisas para cilindros que se quieran utilizar, para este requisito, es necesario referirse a la tabla 3, que describe el tamaño, el tipo y el método de moldeo, para obtener los datos de falla correctos.

Para este caso, como se muestra en la tabla 2 resaltado, corresponde al diámetro de los cilindros de $d=150$ mm y a su vez se muestra el número de golpes por capa en la tabla 3.

Tabla 3. Requisitos de tamaño, tipo y moldeo

Tipo y tamaño del espécimen, profundidad, (mm)	Método de compactación	Número de capas	Profundidad aproximada de la capa, (mm)
Cilindros:			
300 o menos	Apisonamiento	3 iguales	100 o menos
más de 300	Apisonamiento	Las que se requieran	100 o menos
300 o menos	Vibración	2 iguales	150 o menos
300 a 450	Vibración	2 iguales	Media profundidad del espécimen
más de 450	Vibración	3 ó más	200 o lo más cerca posible
Vigas:			
150 a 200	Apisonamiento	2 iguales	Profundidad media del espécimen
más de 200	Apisonamiento	3 o más	100
150 a 200	Vibración	1	Profundidad del espécimen
más de 200	Vibración	2 ó más	200 lo más cerca posible

Fuente: Instituto Colombiano De Normas Técnicas Y Certificación Icontec, 'NTC 550 CONCRETOS. ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES DE CONCRETO EN OBRA', 200AD, 14

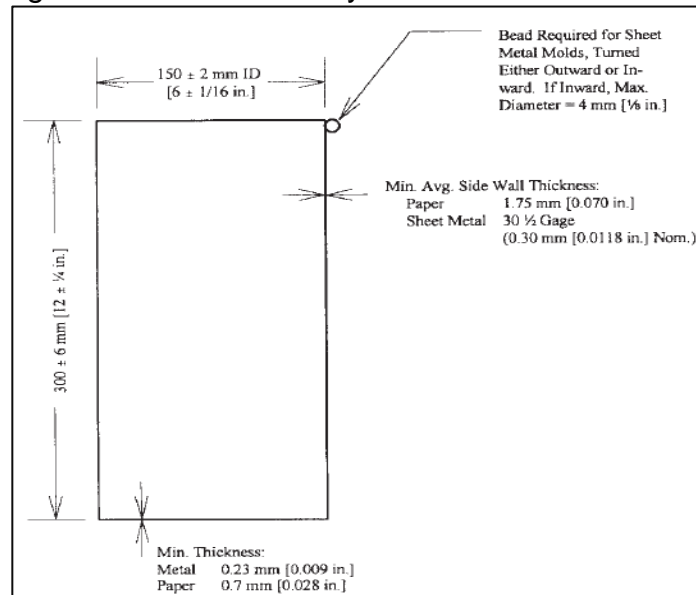
Las camisas o moldes cilíndricos a utilizar para el presente estudio, serán de profundidad máxima de 300 mm, para un método de compactación por apisonamiento, un numero de capas de tres (3) y una profundidad aproximada de

100 mm por capa, al momento del vaciado del concreto.

Cabe aclarar, que esta misma tabla también hay que tenerla en cuenta para el conformado de las viguetas para el ensayo de flexión, por esta razón se resaltan los dos requisitos.

El procedimiento para el curado de los especímenes está proyectado a dos etapas, una primera etapa que es después del moldeo, los cuales se deberán almacenar en un ambiente totalmente húmedo, de manera que se impida la pérdida de humedad para un término de 48 h, y protegiéndolos de la luz directa del sol, para ser desmoldados y ser sometidos a curado final, el cual implica el almacenamiento de los especímenes en un ambiente totalmente húmedo con agua libre de impurezas, cubiertos hasta la superficie, a una temperatura ambiente por un término de 28 días, si no se utilizan acelerantes para curado de concreto. De lo contrario será necesario seleccionar el tipo de acelerante, para saber previamente cuanto será el tiempo necesario para que los especímenes finalicen su proceso de curado, y puedan ser sometidos a prueba de compresión de acuerdo con la norma "ASTM C470/C470M"¹³, en la figura 10 se muestran las dimensiones y tolerancias de los moldes cilíndricos de acuerdo a la norma.

Figura 10. Dimensiones y tolerancias de moldes



Fuente: ASTM International, 'C 470/470M Standard Specification for Molds for Forming Concrete Test Cylinders Vertically', (2003), 1–5.

13. ASTM INTERNATIONAL. C 470/470M. Standard specification for molds for forming concrete test cylinders vertically. 2003. p. 5.

2.2.2 Ensayo a flexión con viguetas. Para determinar el esfuerzo a flexión del concreto, es necesario fabricar especímenes de dimensiones como muestra la norma ASTM C31 anteriormente citada, y los parámetros para su prueba o ensayo está determinada por la norma ASTM C1018 la cual lleva como título “Standard Test Method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading)”¹⁴.

Además explica cómo debe ser el procedimiento, para determinar la tenacidad y resistencia de los concretos y hormigones reforzados con fibra, a partir de la utilización de una viga cargada en tres apoyos, que a medida que se le aplica un incremento de carga, con respecto a un intervalo de tiempo, se va inspeccionando el comportamiento del material, hasta el momento, en que aparece la primera fisura o quebrantamiento del material, dando como resultado de la prueba, el esfuerzo máximo admisible con respecto a una fuerza, provocando flexión en la viga.

Las dimensiones de las viguetas, están normalizadas por la norma ASTM C31, la cual parametriza el procedimiento para la elaboración de las viguetas, estos especímenes están fundidos y curados, en posición horizontal, y su longitud debe ser de 50 mm, mayor que tres veces la profundidad, es decir que podemos tener una viga de 300 mm de largo. Además esta viga debe medir 150 mm por 150 mm de sección transversal.

Sin embargo, también existe la norma ASTM C78, la cual lleva como título “Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)”¹⁵, que propone la elaboración de otro tipo de dimensiones en las viguetas para flexión, y cita en su contenido tres normas aceptables para la elaboración de los moldes, que son las normas: ASTM C42, ASTM 192, ASTM C78 y finalmente la ASTM C31 anteriormente descrita.

Según la ASTM C42, las dimensiones permisibles para la fabricación de viguetas para flexión son las siguientes 6 in x 6 in o 150 mm x 150 mm de sección transversal y longitud de 21 in o 520 mm.

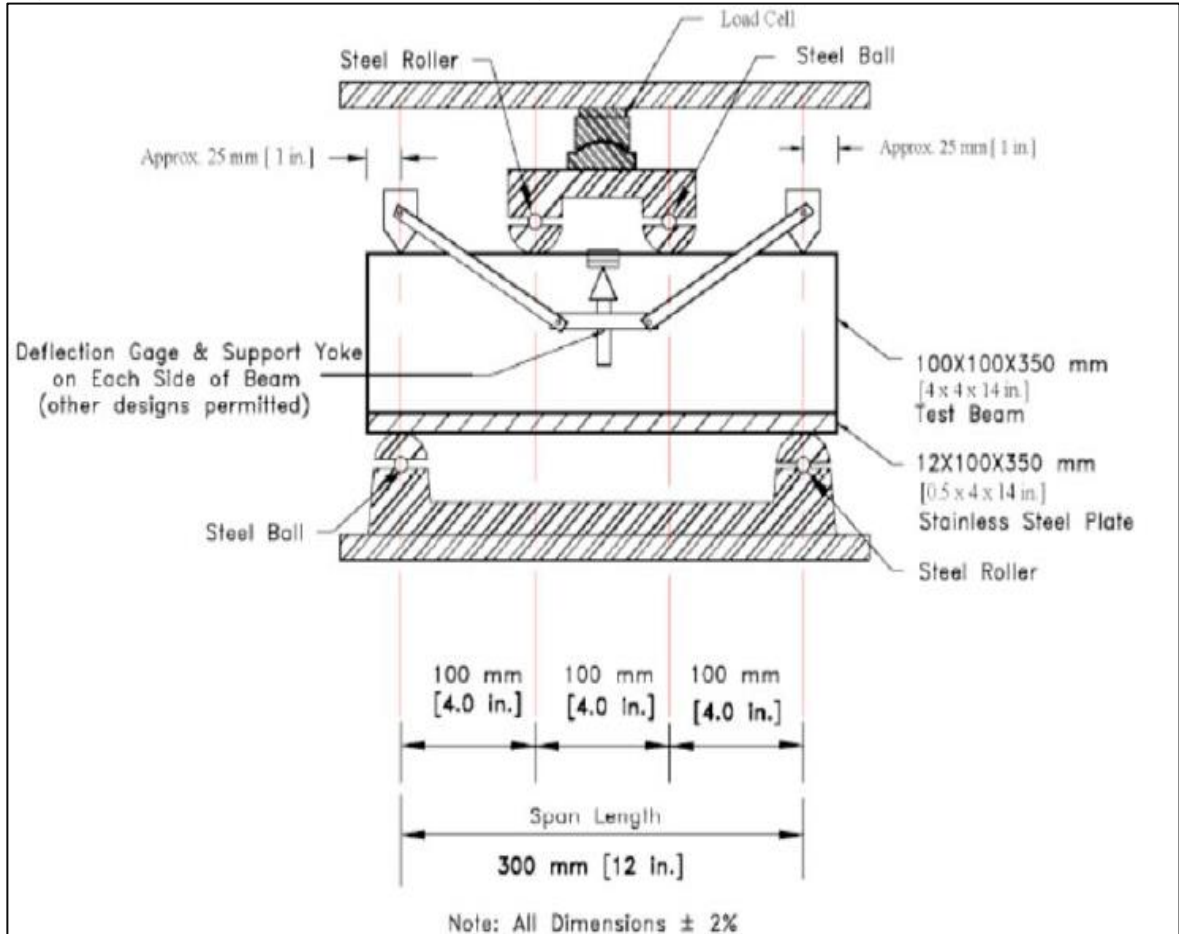
Para tener una idea más clara sobre este procedimiento, según las figuras 11 y figura 12 muestran, un ejemplo de la máquina para ensayo de flexión de dichas viguetas, tanto para la norma ASTM C31 y “ASTM C42”¹⁶.

14. ASTM, C1018-97. Standard test method for flexural toughness and first-crack strength of fiber-reinforced concrete (using beam with third-point loading). 1997. p. 7.

15. ASTM INTERNATIONAL, C78. Standard test method for flexural strength of concrete (using simple beam with third-point loading). p. 3.

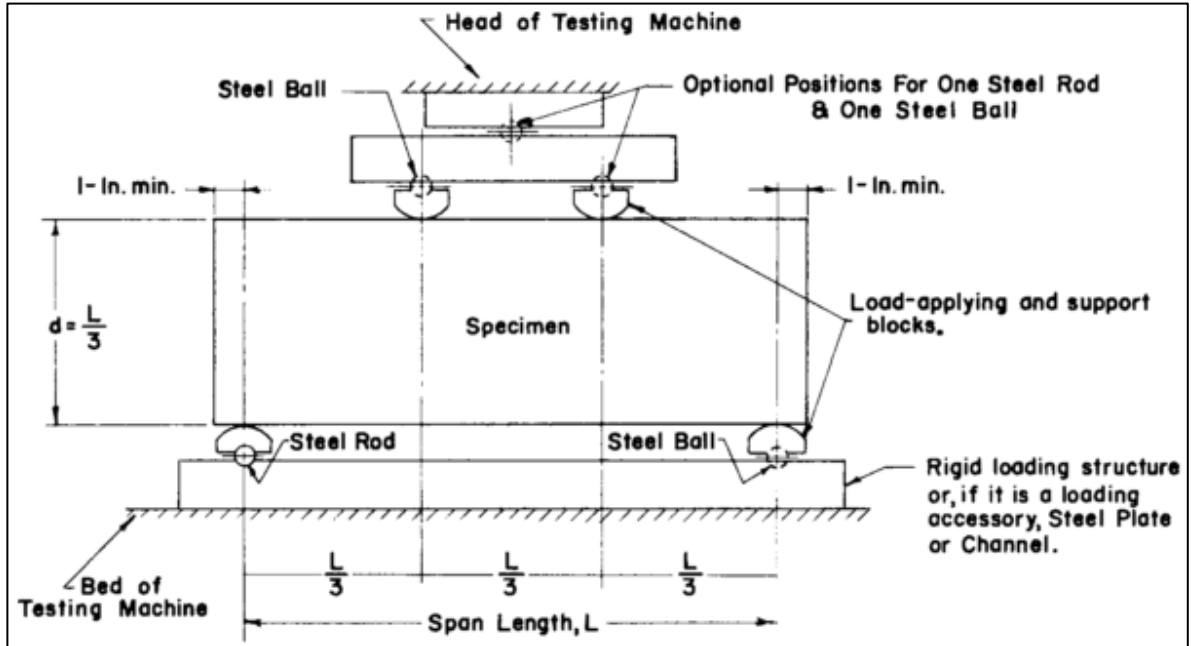
16. ASTM INTERNATIONAL, C42/C42M. Standard test method for obtaining and testing drilled cores and sawed beams of concrete. 2013. p. 7.

Figura 11. Máquina para flexión de viguetas de acuerdo a norma ASTM C31



Fuente: ASTM, 'ASTM C1018-97 Standard Test Method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading)', ASTM Standard, 04.October (1997), 7.

Figura 12. Máquina de flexión de viguetas ASTM C42 y ASTM C78



Fuente: ASTM International, «Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading), *Astm C78*, 78 (2002), 1-3.

2.2.3 Ensayo de fluidez con fibras. Según la norma técnica colombiana "NTC 3696"¹⁷ la cual lleva como título "MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL TIEMPO DE FLUIDEZ DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS A TRAVÉS DEL CONO DE ASENTAMIENTO INVERTIDO" y homologada con la norma "ASTM C995-01"¹⁸, esta norma es aplicada en concretos recién mezclados y reforzados con fibra, independiente de la clase o tipo se utilice.

El procedimiento que describe la norma, es utilizar un cono de asentamiento invertido, el cual se humedece previamente y se coloca en una superficie horizontal, nivelada, y libre de vibraciones; este cono se llena en tres capas, cada una aproximadamente igual a la tercera parte del volumen total del cono. Se evita la compactación del concreto, y por cada capa, se nivela la mezcla con un palustre, para evitar grandes vacíos entre las capas. Cuando se llegue a la capa superior, por medio de un movimiento rotacional y rasante con el palustre, se nivela la mezcla.

A continuación se enciende el vibrador y simultáneamente se activa el cronometro,

17.ICONTEC, NTC 3696. Método de ensayo para determinar el tiempo de fluidez del concreto reforzado con fibras a través del cono de asentamiento invertido. 2008. p. 5.

18.ASTM INTERNATIONAL, ASTM C995-1. Standard test method for time of flow of fiber-reinforced concrete through inverted slump cone. 2001. p. 2.

se deja descender a un lapso de tiempo de 3 ± 1 s, hasta que el vibrador toque la superficie inferior, sin tocar las paredes del cono. Se detiene el cronometro cuando se aprecie que la mezcla de concreto muestre una apertura al final del cono, finalizando así la prueba de asentamiento.

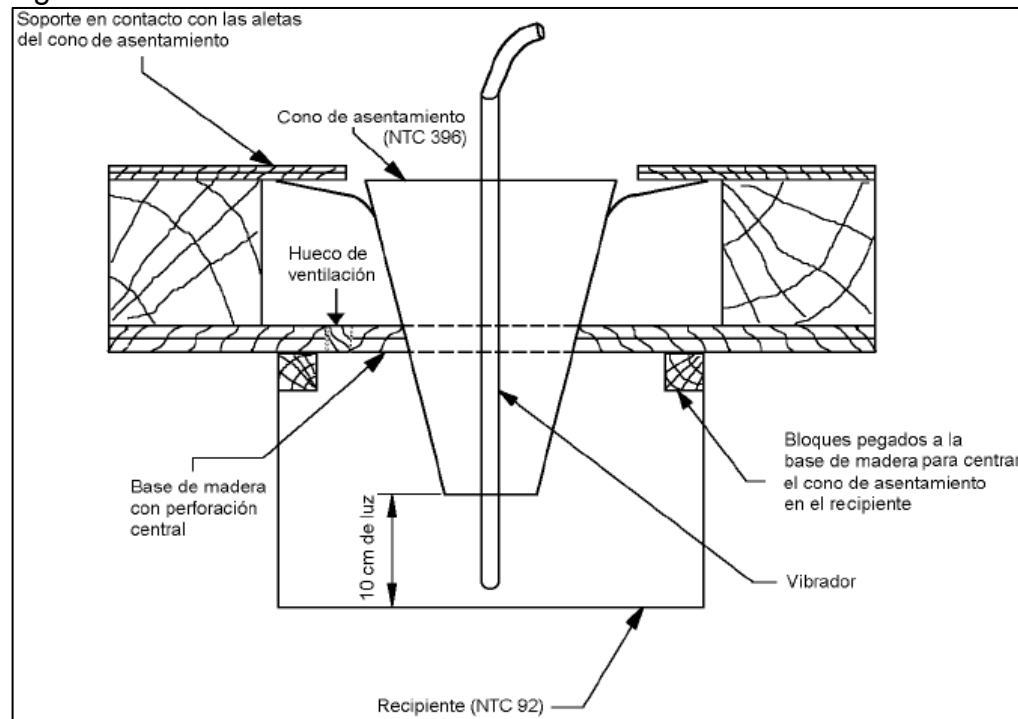
Cabe aclarar, que es suficiente con realizar una vez este procedimiento y solamente se debe repetir la prueba, si existe un taponamiento en el cono al momento del vaciado del mismo.

Finalmente se realiza un informe en donde se debe presentar la siguiente información;

- ✓ Tiempo desde la inmersión del elemento vibratorio, hasta la apertura del vaciado
- ✓ Diámetro, frecuencia y amplitud del elemento vibratorio

La figura 13, muestra de manera gráfica, como se realiza el procedimiento y los parámetros que hay que tener en cuenta, para obtener el resultado adecuado de la prueba.

Figura 13. Forma de colocar el cono de asentamiento invertido



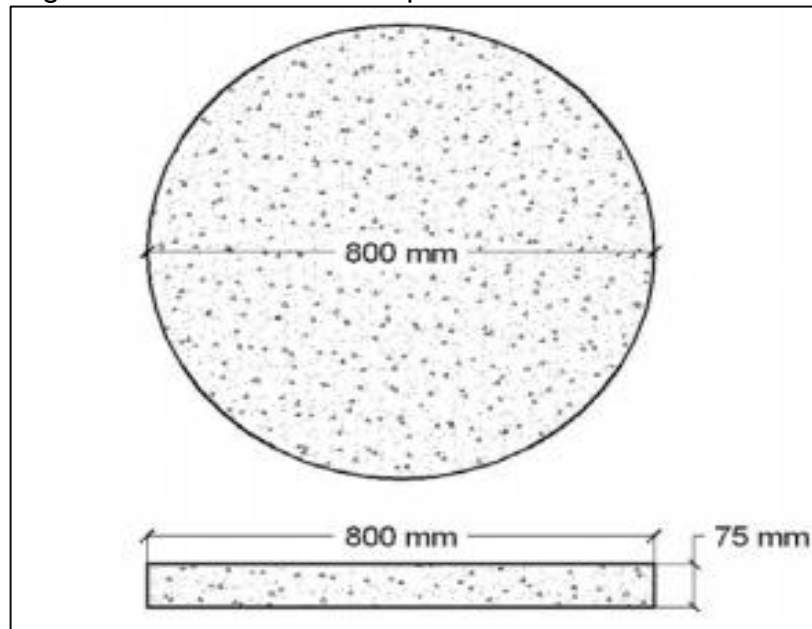
Fuente: ICONTEC, NTC 3696 Método de ensayo para determinar el tiempo de fluidez del concreto reforzado con fibras a través del cono de asentamiento invertido, 1995, 8.

2.2.4 Ensayo de tenacidad a flexión. Este ensayo está determinado por la norma ASTM C1550, la cual lleva como título, “Standard Test Method for Flexural Toughness of Fiber Reinforced Concrete (Using Centrally Loaded Round Panel)”¹⁹, que corresponde a la norma EFNARC-DE235, y en su contenido explica cómo se debe analizar el comportamiento post-fisuración, del concreto reforzado con fibras, y que determina la tenacidad a esfuerzo de tensión, de probetas circulares apoyadas sobre tres (3) apoyos, ubicados simétricamente en una circunferencia de 750 mm. Saber el valor de la energía absorbida desde el inicio que se aplica la carga en el centro de la circunferencia es su propósito principal. La norma recomienda que la deflexión final del ensayo sea máximo de 45 mm, y que la carga se aplique, sea de tal forma que la velocidad varíe de $4,0 \pm 1,0$ mm/min.

Cabe resaltar, que este ensayo es necesario realizarlo después de 28 días de curado el concreto, de acuerdo a la norma ASTM C31.

Las dimensiones de la probeta de ensayo, son las de una placa circular de 75 mm de espesor y 800 mm de diámetro como se muestra en la figura 14.

Figura 14. Dimensiones de placa circular

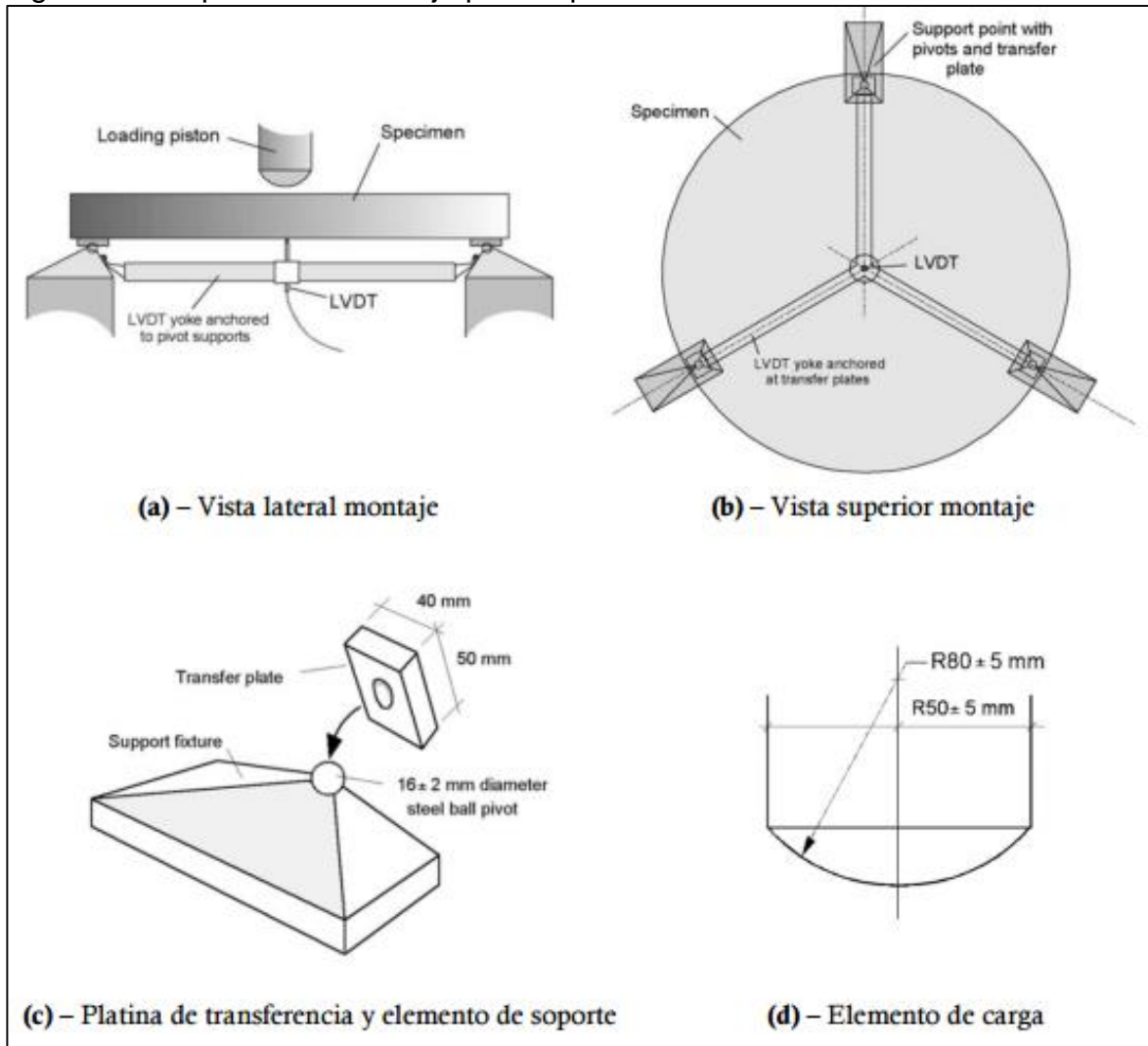


Fuente: ASTM Committee, ‘ASTM C1550-12 Standard Test Method for Flexural Toughness of Fiber Reinforced Concrete (Using Centrally Loaded Round Panel)’

19. ASTM COMMITTEE, C1550-12. Standard test method for flexural toughness of fiber reinforced concrete using centrally loaded round panel. 2012. p.14.

Para hacer el respectivo montaje de la probeta en la máquina correctamente, es necesario tener en cuenta las siguientes indicaciones que se muestra la figura 15.

Figura 15. Esquema del montaje para la prueba de tenacidad a flexión



Fuente: ASTM Committee, 'ASTM C1550-12 Standard Test Method for Flexural Toughness of Fiber Reinforced Concrete (Using Centrally Loaded Round Panel)'

3. FUNDIDA Y CURADO DE CONCRETO

El procedimiento de fundida del concreto, consiste en la mezcla de diferentes tipos de material cerámico como grava, arena, cemento; a esta mezcla se agrega agua la cual hace una reacción de hidratación con el componente principal del cemento llamado “clinker”, creando un conjunto uniforme, maleable, y plástico que al cabo de un tiempo determinado dependiendo de sus niveles de humedad endurece, adquiriendo una composición pétreo y compacta llamada comúnmente hormigón o concreto. Ahora bien, el curado del concreto, consiste en adaptar un ambiente controlado con exceso de humedad, que según la experiencia a lo largo de la historia y como lo describe la norma ASTM C31, es necesaria la solidificación de la mezcla al cabo de un (1) día, para ser posteriormente sumergida en agua limpia, por un periodo de veintiocho (28) días para finalmente alcanzar una resistencia deseada del 70%, según la proporción de la mezcla o en rigurosos ejercicios el diseño de la mezcla²⁰.

Esta proporción de mezcla está dada por un estudio de laboratorio el cual determina la granulometría (tamaño), absorción de humedad, módulo de finura, densidad y masa de cada uno de los agregados que en este caso son la arena, grava, cemento. Así como también el laboratorio proporciona la resistencia de diseño de la mezcla en condiciones ideales, que para el presente estudio es de 3.045,7 psi (21 MPa). [Ver ANEXO A]

3.1 SELECCIÓN Y PREPARACIÓN DE MATERIALES

A continuación se muestra el estado de los materiales seleccionados y enviados al laboratorio, para poder obtener la información del diseño de mezcla mencionado anteriormente. [Ver sección 2.3]

En la foto 6 se muestra la grava utilizada para la mezcla del concreto seleccionado.

20.ASTM COMMITTEE, C 31/C31M - 96. standard practice for making and curing concrete test specimens in the field. 1996. p. 6.

Foto 6. Gravilla suministrada por DISTRIAGREGADOS S.A. de 3/4 pul



En la Foto 7 se muestra la arena utilizada para la mezcla de concreto seleccionado de acuerdo con el diseño de mezcla.

Foto 7. Arena suministrada por DISTRIAGREGADOS S.A.



Finalmente los últimos materiales utilizados de acuerdo al diseño de mezcla, se muestran en la foto 8.

Foto 8. Cemento Tequendama tipo 1 y Polifibra de POLYALTEC S.A.



Los especímenes a fabricar en el presente estudio, serán hechos de acuerdo a las normas ASTM anteriormente descritas, los cuales necesitan elementos y accesorios adicionales. Estos ayudan a su conformación correcta y principalmente teniendo la seguridad como requisito principal, para que la persona que ejecute el desarrollo del procedimiento de fundida y curado del concreto, no sufra lesión alguna y su condición física tampoco sea afectada.

Por esta razón a continuación se muestra la foto 9, y un listado donde se describen los elementos que influyen en la práctica, tanto técnicos como elementos de protección personal.

Foto 9. Elementos para fundida y curado de concreto



- ✓ Pala (1): Elemento para mezclar los materiales
- ✓ Balde (2): Elemento a utilizar como recipiente para pesar la mezcla
- ✓ Palustre (3): Elemento para hacer acabados superficiales en la mezcla
- ✓ Bascula fotovoltaica (4): Elemento a utilizar para pesar material con capacidad mínima de 100 g y máxima de 30 kg
- ✓ Martillo de hule (5): Elemento a utilizar para generar vibración en los moldes
- ✓ Brocha (6): Elemento a utilizar para eliminar el exceso de material
- ✓ Guantes de carnaza (7): Elemento de protección personal a utilizar para evitar lesiones en extremidades superiores
- ✓ Varilla compactadora (8): Elemento de 50 cm de largo con un extremo redondeado para compactar la mezcla de concreto

✓ Botas punta de acero: Elemento de protección personal a utilizar para evitar lesiones en extremidades inferiores

✓ Aceite líquido para motor (ACPM): Elemento para impermeabilizar las camisas

Para la obtención de los valores reales de peso de los materiales a mezclar, fue necesario saber si la báscula utilizada estaba correctamente calibrada, por esta razón se hizo la verificación con pesos calibrados en el laboratorio de metrología de la Universidad Nacional de Colombia como se muestra en la foto 10, y los resultados de la práctica se muestran en el cuadro 1.

Foto 10. Pesos calibrados (5 g - 500 g)



Cuadro 1. Resultados de calibración con báscula

BÁSCULA COMMODORE							
SENCIBILIDAD DE LA BÁSCULA (0,05 g)							
MUESTRA CALIBRADA (g)	LECTURA #1 (kg)	LECTURA #2 (kg)	LECTURA #3 (kg)	LECTURA #4 (kg)	LECTURA #5 (kg)	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
5	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,000
10	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,000
20	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,000
50	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,000
100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,000
200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,000
EXENTRÍCIDAD (500 g)							
CENTRO	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,000
IZQUIERDA	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,000
ARRIBA	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,000
DERECHA	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,000
ABAJO	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,000

3.2 SELECCIÓN Y PREPARACIÓN DE MOLDES

De acuerdo a las normas descritas [Ver sección 2.2], la selección de los moldes, depende del tipo de prueba que se vaya a implementar, y su preparación consiste en limpiar previamente la superficie con una brocha al interior de ellos, para evitar que existan impurezas tales como arenillas, material orgánico y residuos de cemento, si se diera el caso que hubieran sido utilizadas en alguna ocasión anterior. Posteriormente, es de suma importancia después de haber limpiado rigurosamente, cubrir la superficie interior con algún aceite o solución, para que al vaciar el concreto, evite que se adhiera, en el momento que la mezcla se compacte. Por último es necesario verificar el ajuste de las juntas del molde, para que la mezcla no se filtre a través de ellas y el acabado superficial quede en las mejores condiciones.

A continuación se muestran los moldes que fueron suministrados por la firma CONTECON URBAR S.A., que cumplen con todas las especificaciones técnicas y normatividad, dependiendo de la prueba.

Para el ensayo de compresión de cilindros se utilizan camisas de acuerdo con la foto 11 y para la prueba de flexión de viguetas se utilizan camisas de dimensiones que corresponden con la foto 12.

Foto 11. Camisas de cilindros 150 mm x 300 mm



Foto 12. Moldes en forma viguetas 520 mm x 150 mm x 150 mm



El molde que se muestra en la foto 14, fue necesario fabricarlo de acuerdo a la norma ASTM C1550, ya que no fue posible el suministro del mismo; ahora bien, los materiales que fueron utilizados son los siguientes;

- ✓ Lámina triplex calibre 9 mm de 900 mm x 900 mm
- ✓ Lámina galvanizada calibre 2 mm
- ✓ Cordón de soldadura autógena oxiacetilénica (Ver foto 13)
- ✓ Alambre dulce para amarres entre triplex y lamina (8 unidades)

La longitud de la lámina galvanizada se halla de la siguiente forma:

$$L = P = 2 \pi r$$

Donde;

L = Longitud de la lámina galvanizada

P = Perímetro del círculo

r = Radio del círculo

Se reemplaza;

$$L = P = 2\pi \times 800 \text{ mm} \times \frac{1\text{m}}{1000 \text{ mm}} = 5.026 \text{ m}$$

Foto 13. Soldadura de lámina galvanizada



Foto 14. Molde terminado para ensayo de tenacidad a flexión 800 mm x 75 mm



3.3 PROPORCIONES Y MEZCLAS

La decisión final que se tomó junto con el representante legal de POLYALTEC S.A. respecto a cuantos especímenes se necesitaban fallar en las pruebas destructivas fue la siguiente:

3.3.1 Cilindros. Para la prueba de cilindros será necesario fallar 12 especímenes de los cuales, 3 serán mezclados con 0% de fibra, otros 3 serán mezclados con el 5% de fibra, otros 3 serán mezclados con 10% y finalmente otros 3 con el 15% de fibra; estos porcentajes están dados en función del volumen total de la muestra;

$$V_{TC} = \frac{\pi D^2}{4} h$$

Donde;

V_{TC} = Volumen total del cilindro

D = Diámetro del círculo

h = Altura del cilindro

Reemplazando;

$$V_{TC} = \frac{\pi \times (150 \text{ mm})^2}{4} \times 300 \text{ mm} = 5.301.437,6 \text{ mm}^3 \times \frac{1 \text{ m}^3}{1 \times 10^9 \text{ mm}^3} = 5,30 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Ahora para hallar el contenido de fibra necesaria para un cilindro se tiene, que una fibra tiene el siguiente volumen, si se supone que una fibra posee una forma cilíndrica;

$$V_{Tf} = \frac{\pi D_f^2}{4} h_f$$

Donde;

V_{Tf} = Volumen total de la fibra

D_f = Diámetro de la fibra

h_f = Altura de la fibra

Reemplazando;

$$V_{Tf} = \frac{\pi \times 1 \text{ mm}^2}{4} \times 60 \text{ mm} = 47,12 \text{ mm}^3$$

Ahora si se divide el volumen total del cilindro en el volumen de una fibra podemos saber cuántas fibras caben en un cilindro;

$$\frac{V_{TC}}{V_{Tf}} = \frac{5.301.437,6 \text{ mm}^3}{47,12388 \text{ mm}^3} = 112.500 \text{ fibras}$$

Ahora se hallan los porcentajes de fibra que necesitan para las muestras así:

Con el 5%;

$$112.500 \text{ fibras} \times 0,05 = 5.625 \text{ fibras}$$

Si una fibra pesa 0,05 g entonces;

$$5.625 \text{ fibras} \times \frac{0,05 \text{ g}}{1 \text{ fibra}} = 281 \text{ g}$$

Con el 10%;

$$112.500 \text{ fibras} \times 0,1 = 11.250 \text{ fibras}$$

Si una fibra pesa 0,05 g entonces;

$$11.250 \text{ fibras} \times \frac{0,05 \text{ g}}{1 \text{ fibra}} = 562 \text{ g}$$

Con el 15%;

$$112.500 \text{ fibras} \times 0,15 = 16.875 \text{ fibras}$$

Si una fibra pesa 0,05 g entonces;

$$16.875 \text{ fibras} \times \frac{0,05 \text{ g}}{1 \text{ fibra}} = 843 \text{ g}$$

3.3.2 Viguetas. Para la prueba con viguetas será necesario fallar 8 especímenes de los cuales, 2 serán mezclados con 0% de fibra, otros 2 serán mezclados con el 5% de fibra, otros 2 con el 10% y finalmente otros 2 con el 15% de fibra; estos porcentajes están dados en función del volumen total de la muestra;

$$V_{TV} = l a h$$

Donde;

V_{TV} = Volumen total de la vigueta

l = Longitud del paralelepípedo

a = Ancho del paralelepípedo

h = Altura del paralelepípedo

Reemplazando;

$$V_{TV} = 520 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} = 11.700.000 \text{ mm}^3 \times \frac{1 \text{ m}^3}{1 \times 10^9 \text{ mm}^3} = 11,7 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Ahora para hallar el contenido de fibra necesaria para un paralelepípedo se tiene, que una fibra tiene el siguiente volumen, si se supone que una fibra posee una forma cilíndrica;

$$V_{Tf} = \frac{\pi D_f^2}{4} h_f$$

Donde;

V_{Tf} = Volumen total de la fibra

D_f = Diámetro de la fibra

h_f = Altura de la fibra

Reemplazando;

$$V_{Tf} = \frac{\pi \times 1 \text{ mm}^2}{4} \times 60 \text{ mm} = 47,12 \text{ mm}^3$$

Ahora si se divide el volumen total de la viga en el volumen de una fibra se puede saber cuántas fibras caben en un paralelepípedo;

$$\frac{V_{TV}}{V_{Tf}} = \frac{11.700.000 \text{ mm}^3}{47,12388 \text{ mm}^3} = 248.281 \text{ fibras}$$

Ahora se hallan los porcentajes de fibra que necesitan para las muestras así:

Con el 5%;

$$248.281 \text{ fibras} \times 0,05 = 12.414 \text{ fibras}$$

Si una fibra pesa 0,05 g entonces;

$$12.414 \text{ fibras} \times \frac{0,05 \text{ g}}{1 \text{ fibra}} = 620 \text{ g}$$

Con el 10%;

$$248.281 \text{ fibras} \times 0,1 = 24.828 \text{ fibras}$$

Si una fibra pesa 0,05g entonces;

$$24.828 \text{ fibras} \times \frac{0,05g}{1 \text{ fibra}} = 1.241 \text{ g}$$

Con el 15%;

$$248.281 \text{ fibras} \times 0,15 = 37.242 \text{ fibras}$$

Si una fibra pesa 0,05g entonces;

$$37.242 \text{ fibras} \times \frac{0,05g}{1 \text{ fibra}} = 1.862 \text{ g}$$

3.3.3 Placa circular. Para la prueba de la placa circular, será necesario fallar un espécimen con el 5% de fibra; este porcentaje está dado en función del volumen total de la muestra;

$$V_{TP} = \frac{\pi D^2}{4} h$$

Donde;

V_{TP} = Volumen total de la placa circular

D = Diámetro de la placa circular

h = Altura de placa circular

Reemplazando;

$$V_{TP} = \frac{\pi \times (800 \text{ mm})^2}{4} \times 75 \text{ mm} = 37.699.111,84 \text{ mm}^3 \times \frac{1 \text{ m}^3}{1 \times 10^9 \text{ mm}^3} = 0,03770 \text{ m}^3$$

Ahora para hallar el contenido de fibra necesaria para un cilindro se tiene, que una fibra tiene el siguiente volumen, si se supone que una fibra posee una forma cilíndrica;

$$V_{Tf} = \frac{\pi D_f^2}{4} h_f$$

Donde;

V_{Tf} = Volumen total de la fibra

D_f = Diámetro de la fibra

h_f = Altura de la fibra

Reemplazando;

$$V_{Tf} = \frac{\pi \times 1 \text{ mm}^2}{4} \times 60 \text{ mm} = 47,12 \text{ mm}^3$$

Ahora si se divide el volumen total del cilindro en el volumen de una fibra podemos saber cuántas fibras caben en un cilindro;

$$\frac{V_{TP}}{V_{Tf}} = \frac{37.699.111,84 \text{ mm}^3}{47,12388 \text{ mm}^3} = 800.000 \text{ fibras}$$

Ahora se halla el porcentaje de fibra que necesita para la muestra así;

Con el 5%;

$$800.000 \text{ fibras} \times 0,05 = 40.000 \text{ fibras}$$

Si una fibra pesa 0,05 g entonces;

$$40.000 \text{ fibras} \times \frac{0,05 \text{ g}}{1 \text{ fibra}} = 2.000 \text{ g}$$

3.4 AGREGADOS PARA EL CONCRETO

La necesidad de determinar cuanta es la cantidad total de material necesario de todos los agregados, para la mezcla de concreto se define, teniendo como referencia el informe de proporciones de los materiales en masa o en volumen de acuerdo a el diseño de mezcla suministrado por el laboratorio CONCRELAB S. A²¹.

Por esta razón en el cuadro 2 se muestra, cuanto material es necesario para la fabricación de 1 m³ de concreto en condición (SSS) saturado y superficialmente seco.

Cuadro 2. Proporciones de material por metro cúbico de concreto

Material	En masa	En volumen
- Cemento	380,0 kg	7,6 bultos de 50,0 kg
- Arena	965,0 kg	0,699 m ³
-Grava	737,0 kg	0,570 m ³
-Agua	----	198,0 litros

Fuente. CONCRELAB S.A. and J.E. JAIMES INGENIEROS S.A., 'Diseño de Mezcla de Concreto', 1 (2015), 8.

21. CONCRELAB S.A, J.E. JAIMES INGENIEROS S.A., Diseño de mezcla de concreto, 2015, p. 8.

En caso en que también se necesite producir el concreto dosificado para un bulto de cemento de 50 kg, el diseño de mezcla también lo proporciona el cuadro 3.

Cuadro 3. Proporciones de material por bulto de cemento

Material	En masa	En volumen
- Cemento	50,0 kg	1,0 bultos de 50,0 kg
- Arena	127,0 kg	92,0 litros
-Grava	97,0 kg	75,0 litros
-Agua	----	26,1 litros

Fuente. CONCRELAB S.A. and J.E. JAIMES INGENIEROS S.A., 'Diseño de Mezcla de Concreto', 1 (2015), 8.

También se puede el caso que sea necesario producir el concreto dosificado en volumen, para medir las cantidades de material que se puedan utilizar cajones hechos en madera con las siguientes medidas interiores.

✓ Arena: 33,0 cm x 33,0 cm x 28,0 cm (3 veces)

✓ Grava: 33,0 cm x 33,0 cm x 34,0 cm (3 veces)

Se mezclará un bulto de cemento Tequendama de 50 kg, tres (3) cajones llenos rasos de arena, dos (2) cajones llenos rasos de grava y aproximadamente 26.1 litros de agua limpia.

3.4.1 Agregados para cilindros. Es necesario saber cuánto es la cantidad de material que se necesita para producir un cilindro en volumen de concreto, esto quiere decir que se necesita hallar la cantidad de cemento, arena, grava y agua para la mezcla de concreto.

3.4.1.1 Para el cemento. Se halla teniendo en cuenta que para $1 m^3$ se necesitan 380 kg de cemento entonces;

$$Cemento\ cilindro = V_{TC} \times \frac{380\ kg}{1\ m^3}$$

Donde;

V_{TC} = volumen total del cilindro

Remplazando;

$$Cemento\ cilindro = 0,0053014\ m^3 \times \frac{380\ kg}{1\ m^3} = 2,01\ kg$$

Teniendo en cuenta que son 12 cilindros los que hay que fabricar entonces;

$$\text{Cemento cilindros} = 2,01 \text{ kg} \times 12 = 24,12 \text{ kg}$$

Sin embargo hay que tener en cuenta el 5% de desperdicio de material en el proceso de mezclado entonces;

$$\text{Cemento total cilindros} = 24,12 \text{ kg} + (24,12 \text{ kg} \times 0,05) = 25,32 \text{ kg}$$

3.4.1.2 Para la arena. Se halla teniendo en cuenta que para 1 m^3 se necesitan 965 kg de arena entonces;

$$\text{Arena cilindro} = V_{TC} \times \frac{965 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3}$$

Donde;

V_{TC} = volumen total del cilindro

Remplazando;

$$\text{Arena cilindro} = 0,0053014 \text{ m}^3 \times \frac{965 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} = 5,11 \text{ kg}$$

Teniendo en cuenta que son 12 cilindros los que hay que fabricar entonces;

$$\text{Arena cilindros} = 5,11 \text{ kg} \times 12 = 61,32 \text{ kg}$$

Sin embargo hay que tener en cuenta el 5% de desperdicio de material en el proceso de mezclado entonces;

$$\text{Arena total cilindros} = 61,32 \text{ kg} + (61,32 \text{ kg} \times 0,05) = 64,38 \text{ kg}$$

3.4.1.3 Para la grava. Se halla teniendo en cuenta que para 1 m^3 se necesitan 737 kg de grava entonces;

$$\text{Grava cilindro} = V_{TC} \times \frac{737 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3}$$

Donde;

V_{TC} = volumen total del cilindro

Remplazando;

$$\text{Grava cilindro} = 0,0053014 \text{ m}^3 \times \frac{737 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} = 3,90 \text{ kg}$$

Teniendo en cuenta que son 12 cilindros los que hay que fabricar entonces;

$$\text{Grava cilindros} = 3,90 \text{ kg} \times 12 = 46,80 \text{ kg}$$

Sin embargo hay que tener en cuenta el 5% de desperdicio de material en el proceso de mezclado entonces;

$$\text{Grava total cilindros} = 46,80 \text{ kg} + (46,80 \text{ kg} \times 0,05) = 49,14 \text{ kg}$$

3.4.1.4 Para el agua. Se halla teniendo en cuenta que para 1 m^3 se necesitan 198 l de agua entonces;

$$\text{Agua cilindro} = V_{TC} \times \frac{198 \text{ l}}{1 \text{ m}^3}$$

Donde;

V_{TC} = volumen total del cilindro

Remplazando;

$$\text{Agua cilindro} = 0,0053014 \text{ m}^3 \times \frac{198 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} = 1,05 \text{ l}$$

Teniendo en cuenta que son 12 cilindros los que hay que fabricar entonces;

$$\text{Agua cilindros} = 1,05 \text{ l} \times 12 = 12,60 \text{ l}$$

Cabe aclarar que no hay desperdicio de agua en el proceso puesto que el mezclado absorbe toda el agua aplicada.

3.4.2 Agregados para viguetas. Es necesario saber cuánta es la cantidad de material que se necesita, para producir una vigueta en volumen de concreto, esto quiere decir que se necesita hallar la cantidad de cemento, arena, grava y agua para la mezcla de concreto.

3.4.2.1 Para el cemento. Se halla teniendo en cuenta que para 1 m^3 se necesitan 380kg de cemento entonces;

$$\text{Cemento vigueta} = V_{TV} \times \frac{380 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3}$$

Donde;

V_{TV} = volumen total de la vigueta

Remplazando;

$$\text{Cemento vigueta} = 0,0117 \text{ m}^3 \times \frac{380 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} = 4,44 \text{ kg}$$

Teniendo en cuenta que son 8 viguetas las que hay que fabricar entonces;

$$\text{Cemento viguetas} = 4,44 \text{ kg} \times 8 = 35,52 \text{ kg}$$

Sin embargo hay que tener en cuenta el 5% de desperdicio de material en el proceso de mezclado entonces;

$$\text{Cemento total viguetas} = 35,52 \text{ kg} + (35,52 \text{ kg} \times 0,05) = 37,29 \text{ kg}$$

3.4.2.2 Para la arena. Se halla teniendo en cuenta que para 1 m^3 se necesitan 965 kg de arena entonces;

$$\text{Arena vigueta} = V_{TV} \times \frac{965 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3}$$

Donde;

V_{TV} = volumen total de la vigueta

Remplazando;

$$\text{Arena vigueta} = 0,0117 \text{ m}^3 \times \frac{965 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} = 11,29 \text{ kg}$$

Teniendo en cuenta que son 8 viguetas las que hay que fabricar entonces;

$$\text{Arena viguetas} = 11,29 \text{ kg} \times 8 = 90,32 \text{ kg}$$

Sin embargo hay que tener en cuenta el 5% de desperdicio de material en el proceso de mezclado entonces;

$$\text{Arena total viguetas} = 90,32 \text{ kg} + (90,32 \text{ kg} \times 0,05) = 94,83 \text{ kg}$$

3.4.2.3 Para la grava. Se halla teniendo en cuenta que para 1 m^3 se necesitan 737 kg de grava entonces;

$$\text{Grava vigueta} = V_{TV} \times \frac{737 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3}$$

Donde;

V_{TV} = volumen total de la vigueta

Remplazando;

$$\text{Grava vigueta} = 0,0117 \text{ m}^3 \times \frac{737 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} = 8,62 \text{ kg}$$

Teniendo en cuenta que son 8 viguetas las que hay que fabricar entonces;

$$\text{Grava viguetas} = 8,62 \text{ kg} \times 8 = 68,96 \text{ kg}$$

Sin embargo hay que tener en cuenta el 5% de desperdicio de material en el proceso de mezclado entonces;

$$\text{Grava total viguetas} = 68,96 \text{ kg} + (68,96 \text{ kg} \times 0,05) = 72,40 \text{ kg}$$

3.4.2.4 Para el agua. Se halla teniendo en cuenta que para 1 m^3 se necesitan 198 l de agua entonces;

$$\text{Agua vigueta} = V_{TV} \times \frac{198 \text{ l}}{1 \text{ m}^3}$$

Donde;

V_{TV} = volumen total de la vigueta

Remplazando;

$$\text{Agua vigueta} = 0,0117 \text{ m}^3 \times \frac{198 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} = 2,31 \text{ l}$$

Teniendo en cuenta que son 8 viguetas los que hay que fabricar entonces;

$$\text{Agua viguetas} = 2,31 \text{ l} \times 8 = 18,48 \text{ l}$$

Cabe aclarar que no hay desperdicio de agua en el proceso puesto que el mezclado absorbe toda el agua aplicada.

3.4.3 Agregados para placa circular. Es necesario saber cuánto es la cantidad de material que se necesita, para producir una placa circular en volumen de concreto, esto quiere decir que se necesita hallar la cantidad de cemento, arena, grava y agua para la mezcla de concreto.

3.4.3.1 Para el cemento. Se halla teniendo en cuenta que para 1 m^3 se necesitan 380kg de cemento entonces;

$$\text{Cemento placa circular} = V_{TP} \times \frac{380 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3}$$

Donde;

V_{TP} = volumen total de la placa circular

Reemplazando;

$$\text{Cemento placa circular} = 0,03770 \text{ m}^3 \times \frac{380 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} = 14,32 \text{ kg}$$

Sin embargo hay que tener en cuenta el 5% de desperdicio de material en el proceso de mezclado entonces;

$$\text{Cemento total placa circular} = 14,32 \text{ kg} + (14,32 \text{ kg} \times 0,05) = 15,03 \text{ kg}$$

3.4.3.2 Para la arena. Se halla teniendo en cuenta que para 1 m^3 se necesitan 965 kg de arena entonces;

$$\text{Arena placa circular} = V_{TP} \times \frac{965 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3}$$

Donde;

V_{TP} = volumen total de la placa circular

Reemplazando;

$$\text{Arena placa circular} = 0,03770 \text{ m}^3 \times \frac{965 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} = 36,38 \text{ kg}$$

Sin embargo hay que tener en cuenta el 5% de desperdicio de material en el proceso de mezclado entonces;

$$\text{Arena total placa circular} = 36,38 \text{ kg} + (36,38 \text{ kg} \times 0,05) = 38,19 \text{ kg}$$

3.4.3.3 Para la grava. Se halla teniendo en cuenta que para 1 m^3 se necesitan 737 kg de grava entonces;

$$\text{Grava placa circular} = V_{TP} \times \frac{737 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3}$$

Donde;

V_{TP} = volumen total de la placa circular

Reemplazando;

$$\text{Grava placa circular} = 0,03770 \text{ m}^3 \times \frac{737 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} = 27,74 \text{ kg}$$

Sin embargo hay que tener en cuenta el 5% de desperdicio de material en el proceso de mezclado entonces;

$$\text{Grava total placa circular} = 27,74 \text{ kg} + (27,74 \text{ kg} \times 0,05) = 29,12 \text{ kg}$$

3.4.3.4 Para el agua. Se halla teniendo en cuenta que para 1 m^3 se necesitan 198 l de agua entonces;

$$\text{Agua placa circular} = V_{TP} \times \frac{198 \text{ l}}{1 \text{ m}^3}$$

Donde;

V_{TP} = volumen total de la placa circular

Remplazando;

$$\text{Agua placa circular} = 0,03770 \text{ m}^3 \times \frac{198 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} = 7,46 \text{ l}$$

Cabe aclarar que no hay desperdicio de agua en el proceso puesto que el mezclado absorbe toda el agua aplicada.

De acuerdo con los cálculos anteriormente desarrollados, a continuación la foto 15 muestra el proceso de dosificación de agregados, y la foto 16 la pesa de los mismos para fabricar los especímenes en concreto.

Foto 15. Proceso dosificación de agregados



Foto 16. Proceso de pesa de agregados



3.5 PROCESO DE MEZCLADO

El proceso de mezclado consiste en la mezcla de todos los materiales previamente pesados y preparados; existen dos formas de hacerlo, la primera es la mezcla de todos los materiales junto con agua hasta que la consistencia de la mezcla sea parecida al lodo, ni suficientemente seca ni excesivamente mojada. El control adecuado de la humedad de la mezcla, es necesario tenerlo en cuenta, ya que los agregados pueden contener humedad al interior de sus componentes, y la recomendación que da el laboratorio es netamente visual, esto quiere decir que a medida que se van mezclando los componentes, se deberá mirar la consistencia de la mezcla y así poder decidir si se agrega una leve cantidad de agua, si llegase a estar demasiado seca. La segunda forma de mezcla consiste en mezclar previamente antes de adicionar agua, el cemento, la arena, y la grava; a este procedimiento se le llama comúnmente al preparado del “mixto”, el cual garantiza un mayor control de homogeneidad, al momento de adicionar el agua.

A continuación se muestra en la foto 17, el proceso de mezclado sin presencia de fibra, para obtener la consistencia adecuada del concreto.

Foto 17. Proceso de mezcla sin presencia de fibra



A continuación también se muestra en la foto 18, el proceso de mezclado de concreto con la fibra polimérica de POLYALTEC LTDA.

Foto 18. Proceso de mezcla con presencia de fibra polimérica



3.6 VACIADO DE MUESTRAS

Finalizado el proceso de mezclado, se procede al vaciado de la mezcla del material en cada uno de los moldes, previamente preparados y permeados con ACPM, para que el concreto no se adhiera a las paredes de los mismos, al momento del desencofre.

3.6.1 Vaciado de cilindros. Al momento de vaciar el concreto en los moldes cilíndricos, según la norma NTC 550 que corresponde a la homologación de la norma ASTM C31 [Véase pagina 37], es de suma importancia contar con la varilla compactadora, para saber el número de golpes necesarios para compactar cada una de las capas de la mezcla.

En las fotos 19 y 20, se muestra el método de dosificación y compactación con varilla compactadora de los cilindros de acuerdo a la norma, golpeando 25 veces por cada tercio de llenado del molde, para finalmente con una llana o palustre obtener el mejor acabado superficial o brillado del concreto, como comúnmente se utiliza en la industria.

Foto 19. Llenado y compactado de cilindro al primer tercio



Foto 20. Llenado y compactado de cilindro con fibra al primer tercio



3.6.2 Vaciado de viguetas. De igual manera de acuerdo a la norma NTC 550 homologada con la norma ASTM C31 son vaciadas las viguetas de concreto y su método de compactación [Ver sección 3.2.1]

A continuación se muestra en la foto 21, el conformado adecuado junto con su correcto acabado superficial, de los moldes en forma de vigueta.

Foto 21. Llenado de molde de vigueta terminado



3.6.3 Vaciado de panel redondo. Según la decisión tomada en el desarrollo del presente estudio, la cual fue tener como referencia un porcentaje adecuado de fibra en la mezcla de concreto, el cual se obtuvo principalmente de la implementación de la fibra y en el mezclado del concreto para las muestras de cilindros y viguetas.

Este porcentaje será del 5% del total del volumen del panel redondo y estará dispuesta en teoría de forma dispersa, sin orientación preferente.

Como la norma ASTM D1550 no habla tanto del método de dispersión como del método de compactación al momento del vaciado del concreto en el molde, es necesario utilizar la varilla compactadora.

Ahora bien, como la fibra tiende a flotar de acuerdo al método de vibración, también para controlar de cierta forma este fenómeno, es de suma importancia utilizar un martillo de hule, para vibrar las paredes del molde y así poder hacer que la mezcla de concreto asiente correctamente, y finalmente obtener un acabado superficial óptimo.

A continuación se muestra la foto 22, del vaciado del concreto en el molde para obtener el panel redondo.

Foto 22. Vaciado y conformado final de panel redondo con 5% de fibra



3.7 CURADO HASTA EL DESENCOFRE

El procedimiento que se debe llevar a cabo con el total de las muestras, para curar correctamente el concreto es, en primer lugar garantizar que la mezcla haya estado en un ambiente controlado con exceso de humedad, baja incidencia del sol y sin alguna fuente de calor, por un término de 24 h a 48 h, para que la mezcla pueda hacer su correcta hidratación y posteriormente la mezcla se compacte, para poder desencofrar.

Pasadas 48 h de compactado del concreto, se procede a desencofrar las muestras que en este caso son las siguientes:

- ✓ Cilindros: 12 muestras (3 sin fibra, 3 con 5% de fibra, 3 con 10% de fibra, 3 con 15% de fibra)
- ✓ Viguetas: 8 muestras (2 sin fibra, 2 con 5% de fibra, 2 con 10% de fibra, 2 con 15% de fibra)
- ✓ Placa circular: 1 muestra con 5% de fibra

Finalmente para que el concreto adquiera una resistencia ideal del 70%, de su totalidad en condiciones ideales de temperatura y humedad, es necesario sumergir la totalidad de las muestras solidificadas y previamente marcadas, por un término de 28 días, como se muestra en la foto 23.

Foto 23. Fraguado de muestras por 28 días



4. ENSAYOS EN LABORATORIO

En este capítulo se muestran los ensayos destructivos necesarios, para la obtención de los datos, para la elaboración de la ficha técnica de la fibra polimérica para refuerzo de concreto de POLYALTEC LTDA.

4.1 PRUEBA DE COMPRESIÓN DE CILINDROS

Esta prueba básicamente consiste en un ensayo destructivo, de 12 muestras cilíndricas previamente curadas a un lapso de tiempo de 28 días, las cuales serán comprimidas por medio de un esfuerzo a compresión normal a las caras de los cilindros, y a medida que es aplicada la fuerza, un sensor acoplado a la maquina arrojará la fuerza máxima que resististe el material cerámico, hasta el instante que se fracture, ya sea de forma superficial o interna.

En la foto 25, se muestra la maquina utilizada en el laboratorio de la Universidad Santo Tomas en su sede principal en Bogotá D.C., para llevar a cabo este procedimiento.

Foto 25. Máquina de compresión de cilindros y viguetas



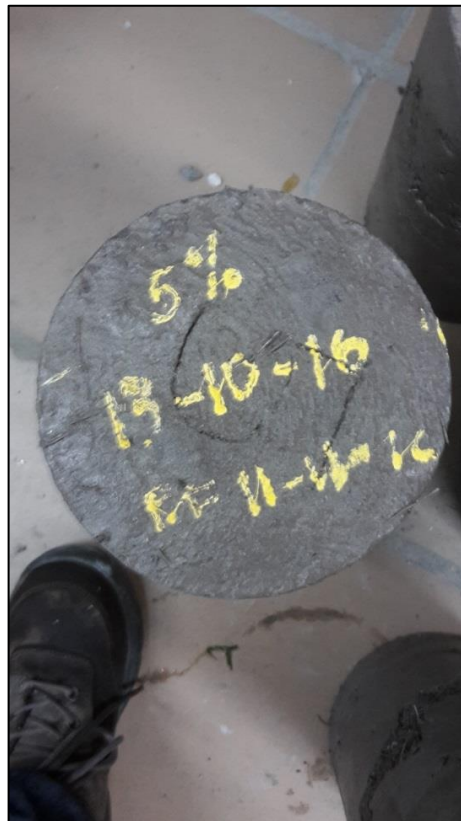
4.1.1 Cilindros 0% fibra. El cilindro mostrados a continuación fue fabricado sin contenido de fibra de refuerzo, es decir que son tipo del diseño de mezcla de concreto (grava, arena, cemento, agua) esta configuración se utilizó para 3 muestras de la misma clase como se aprecia en la foto 26.

Foto 26. Cilindro marcado 0% fibra



4.1.2 Cilindros 5% fibra. El cilindro mostrado a continuación fue fabricado con 5% del volumen total del cilindro con fibra de refuerzo, es decir que su configuración es de la siguiente manera (grava, arena, cemento, agua, 5% fibra), esta configuración se utilizó para 3 muestras de la misma clase como se aprecia en la foto 27.

Foto 27. Cilindro marcado 5% fibra



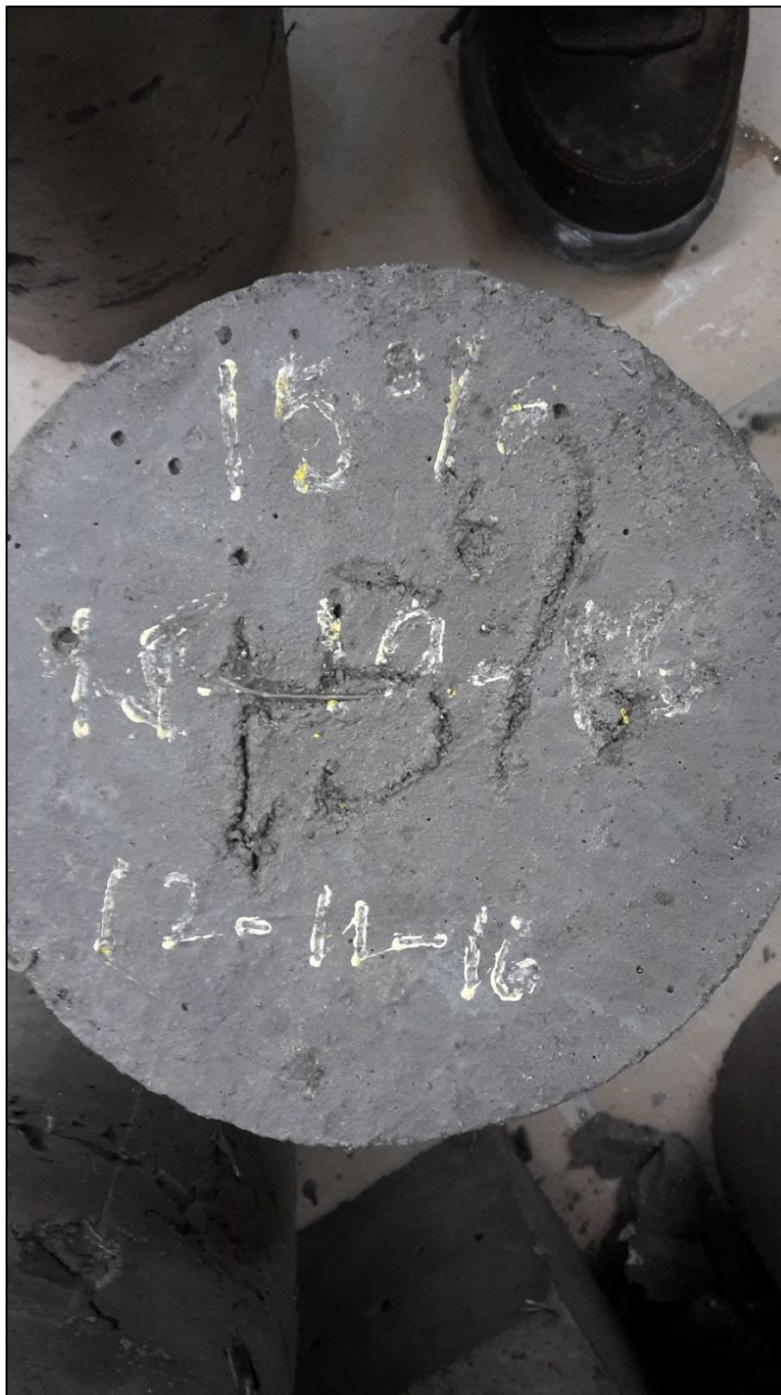
4.1.3 Cilindros 10% fibra. El cilindros mostrado a continuación fue fabricado con 10% del volumen total del cilindro con de fibra de refuerzo, es decir que su configuración es de la siguiente manera (grava, arena, cemento, agua, 10% fibra), esta configuración se utilizó para 3 muestras de la misma clase como se aprecia en la foto 28.

Foto 28. Cilindro marcado 10% fibra



4.1.4 Cilindros 15% fibra. El cilindro mostrado a continuación fue fabricado con 15% del volumen total del cilindro con de fibra de refuerzo, es decir que su configuración es de la siguiente manera (grava, arena, cemento, agua, 15% fibra), esta configuración se utilizó para 3 muestras de la misma clase, como se aprecia en la foto 29.

Foto 29. Cilindro marcado 15% fibra



Finalmente es evidente que al utilizar fibra para refuerzo de concreto, existe una reducción significativa en el fisuramiento del concreto, como se muestra en la foto 30 la comparación de las fallas de un cilindro sin contenido de fibra y otro con 15% de fibra.

Foto 30. Comparación de cilindro sin reforzar vs reforzado con fibra



4.2 PRUEBA DE FLEXIÓN DE VIGUETAS

Esta prueba básicamente consiste en un ensayo destructivo de 8 muestras en forma de paralelepípedo, previamente curadas a un término de 28 días, las cuales serán flectadas por medio de un esfuerzo a compresión normal a las caras opuestas del fundido de las viguetas, y a medida que es aplicada la fuerza, un sensor acoplado a la máquina arrojará la fuerza máxima que resististe el material cerámico, hasta el instante que se fracture, ya sea de forma superficial o interna.

Cabe aclarar que este ensayo está dividido en dos procedimientos, ya que la máquina suministrada por la Universidad Santo Tomas en su sede principal en Bogotá D.C., no cuenta con un dispositivo llamado (Strain Gage) o galga o sensor

extensiométrico como se muestra en la foto 31, el cual hace la medición de la deformación de la vigueta, a partir del esfuerzo aplicado en un instante para así generar las curvas esfuerzo vs deformación.

Foto 31. Strain Gages marca Kyowa



Por la razón anterior, 4 de las muestras se someten a la prueba en la máquina con capacidad de medir netamente el esfuerzo máximo de ruptura, y las 4 restantes son sometidas en la máquina de la Universidad Nacional de Colombia la cual cuenta con el sensor extensiométrico anteriormente citado.

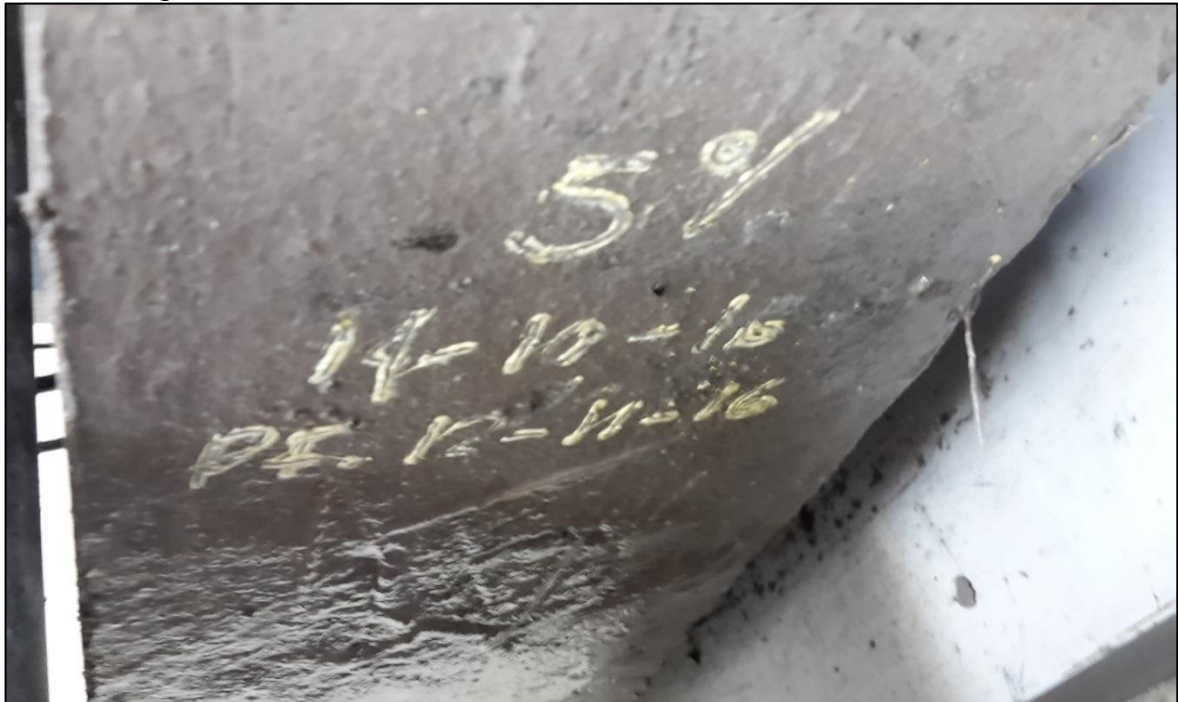
4.2.1 Vigueta 0% fibra en máquina sin strain gages. La vigueta mostrada en la foto 32, fue fabricada sin fibra de refuerzo, es decir que es tipo del diseño de mezcla de concreto (grava, arena, cemento, agua), esta configuración se utilizó para 2 muestras de la misma clase.

Foto 32. Vigueta marcada 0% fibra



4.2.2 Vigueta 5% fibra en maquina sin strain gages. La vigueta mostrada en la foto 33, fue fabricada con 5% de fibra de refuerzo, es decir que es tipo del diseño de mezcla de concreto (grava, arena, cemento, agua, 5% de fibra) esta configuración se utilizó para 2 muestras de la misma clase.

Foto 33. Vigueta marcada 5% fibra



Para una de las viguetas con esta configuración, es de suma importancia resaltar que al momento de la prueba, el operario de la máquina no reinició manualmente el sensor o medidor de fuerza aplicada a la vigueta, por esta razón el resultado obtenido no es erróneo, solo es necesario hacer la resta del resultado de la prueba anterior, que se obtuvo para la vigueta sin refuerzo es decir;

$$R5\% = Rp5\% - R0\%$$

Donde;

$R5\%$ = Resultado real del ensayo

$Ri5\%$ = Resultado de la prueba

$R0\%$ = Resultado de la prueba del 0% de fibra

Reemplazando;

$$R5\% = 49.7 \text{ kN} - 24.7 \text{ kN} = 25 \text{ kN}$$

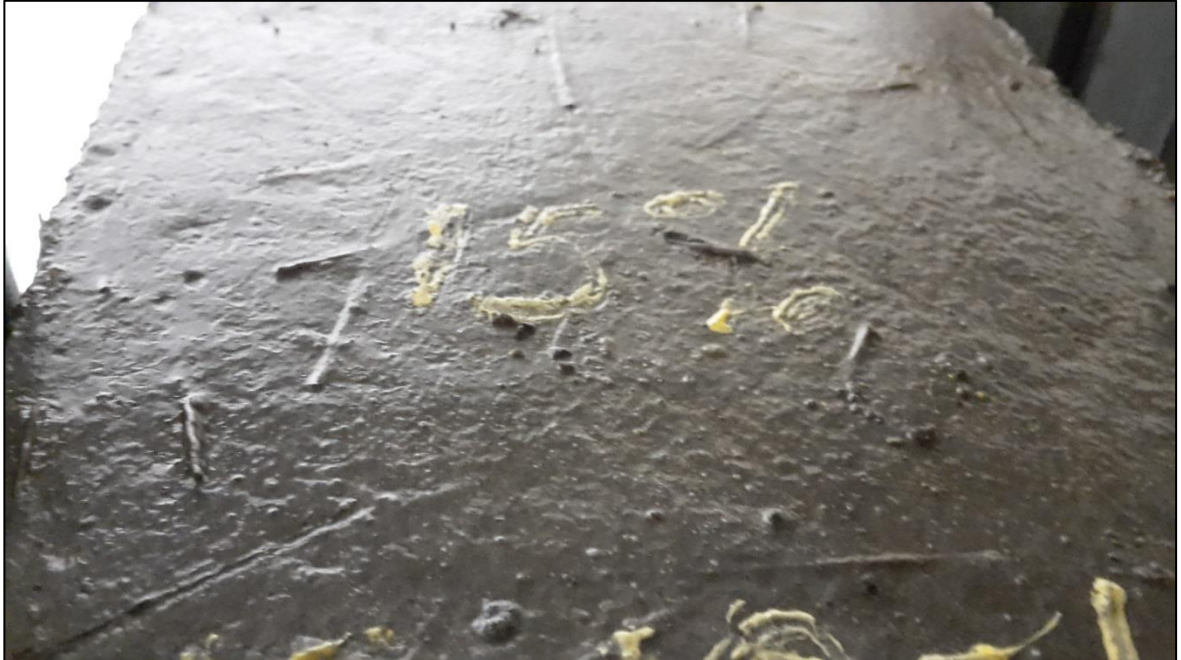
4.2.3 Vigueta 10% fibra en máquina sin strain gages. La vigueta mostrada en la foto 34, fue fabricada con 10% de fibra de refuerzo, es decir que es tipo del diseño de mezcla de concreto (grava, arena, cemento, agua, 10% de fibra) esta configuración se utilizó para 2 muestras de la misma clase.

Foto 34. Vigueta marcada 10% fibra



4.2.4 Vigueta 15% fibra en maquina sin strain gages. La vigueta mostrada en la foto 35, fue fabricada con 15% de fibra de refuerzo, es decir que es tipo del diseño de mezcla de concreto (grava, arena, cemento, agua, 15% de fibra) esta configuración se utilizó para 2 muestras de la misma clase.

Foto 35. Vigueta marcada 15% fibra



4.2.5 Viguetas con deflectómetro. El procedimiento que se muestra a continuación, es el ensayo de laboratorio de falla para viguetas, de dimensiones idénticas a las anteriormente mostradas, gracias a la Universidad Nacional de Colombia la cual permitió el alquiler de la máquina, de capacidad máxima de 50 ton marca SHIMADSU la cual se aprecia en la foto 36, con la que se fallaron las 4 muestras restantes con deflectómetro de 8 muestras fabricadas de las siguientes configuraciones;

- ✓ Vigueta 0% de fibra
- ✓ Vigueta 5% de refuerzo en fibra
- ✓ Vigueta 10% de refuerzo en fibra
- ✓ Vigueta 15% de refuerzo en fibra

Foto 36. Falla de viguetas con deflectómetro

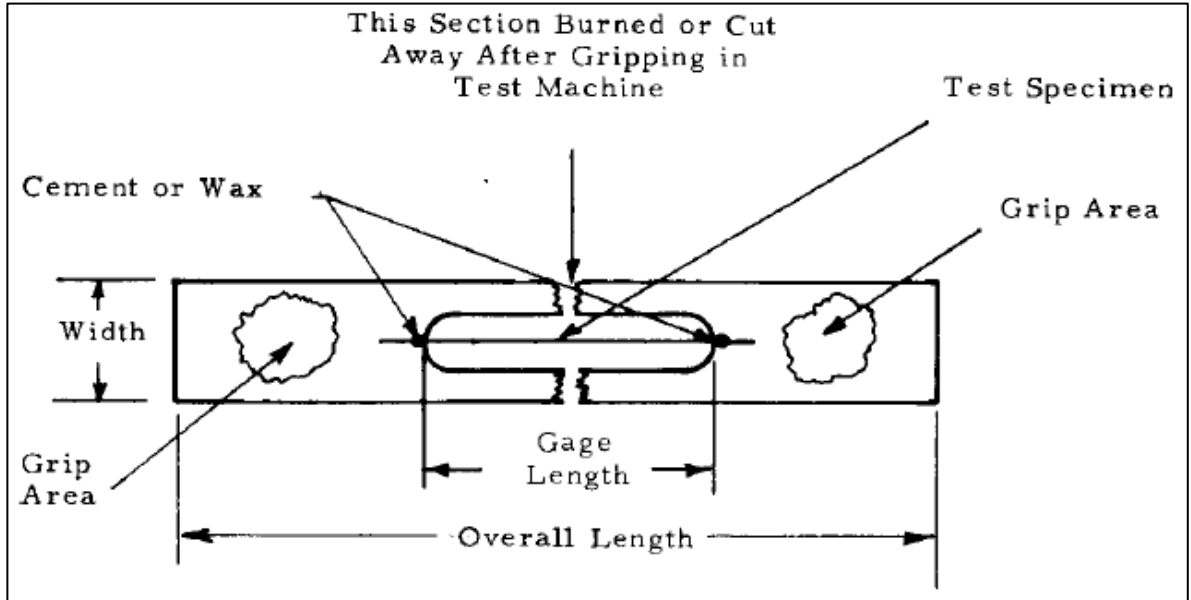


4.3 PRUEBA DE TENSIÓN EN LA FIBRA

El propósito final de hacer una prueba de tensión a la fibra de POLYALTEC, es poder obtener información del comportamiento del material sometido a un esfuerzo axial, en dirección opuesta a la fibra, este comportamiento es analizado a partir de gráficas esfuerzo vs deformación.

El procedimiento que se debe llevar a cabo lo establece la norma ASTM D3379, el cual consiste en la fabricación de unos marcos en cartón como se muestra en la figura 16.

Figura 16. Fabricación de muestras para tensión



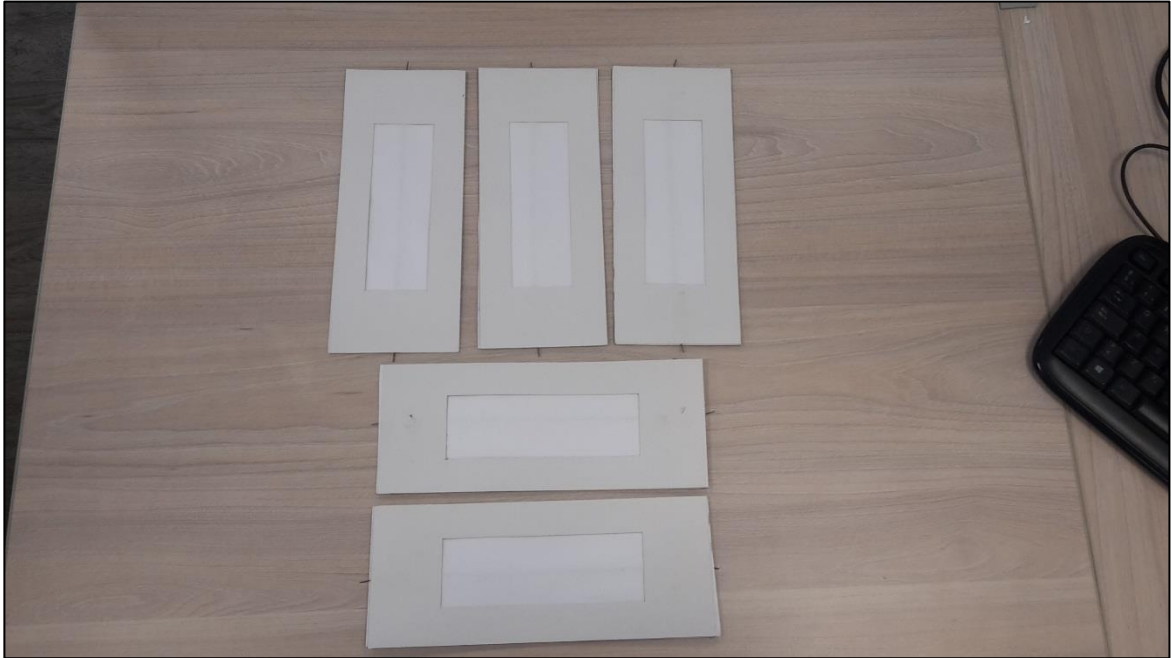
Astm. ASTM D3379: Standard Test Method for Tensile Strength and Young's Modulus for High-Modulus Single-Filament Materials of Plastics. ASTM Stand. 1-5 (1989).

Como se aprecia en la figura 16, existe un área de prensado el cual corresponde a la distancia de agarre de la mordaza de la máquina, también existe un área de agarre de la fibra, que debe estar adherida con pegante epóxico y finalmente la fibra debe ubicarse precisamente en el centro de todo el marco, para que al ser montada en la máquina, se reduzca la presencia de esfuerzos por efectos de torsión del material.

Para minimizar estos esfuerzos de torsión es necesario cuando se estén fabricando los marcos, cubrir la superficie del marco para que al tensionar la fibra, esta esté lo más alineada posible.

La foto 37, muestra el conformado final de los 5 marcos fabricados, para su prueba respectiva.

Foto 37. Marcos para prueba de tensión



Ya estando adherida la fibra pasados 5 minutos, que es el tiempo necesario para que seque el adhesivo epóxico, se procede a retirar el papel del medio y se da la forma de la mordaza de la máquina como se muestra en la foto 38.

Para obtener mayor precisión en la prueba, e ingresar datos reales al computador acoplado a la máquina, se procede a mirar el área transversal con un microscopio especial, el cual calcula el área aproximada del filamento de fibra con una precisión de 500 μm como se puede apreciar en la foto 39.

Foto 38. Marcos finales para ensayo de tensión

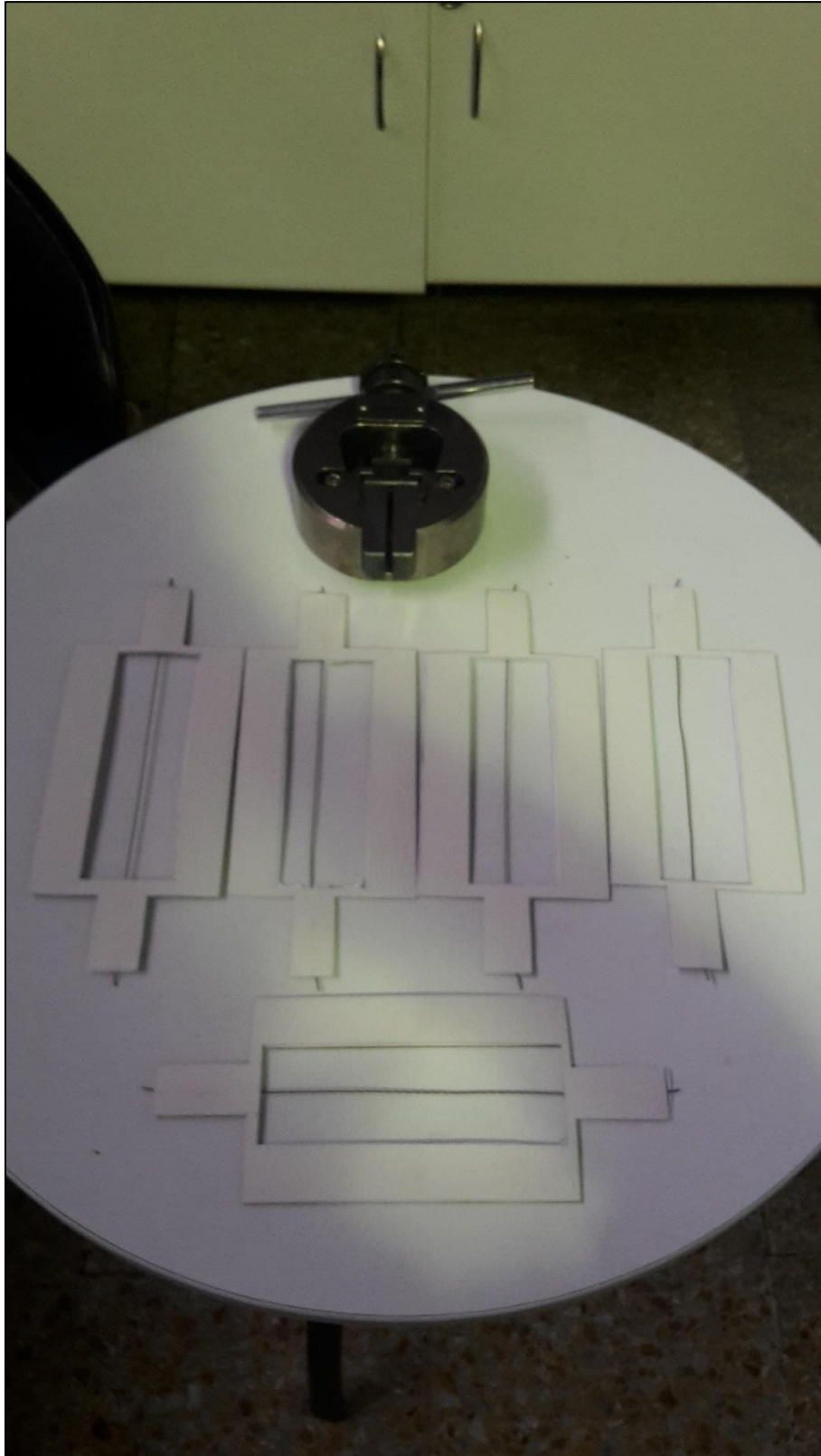
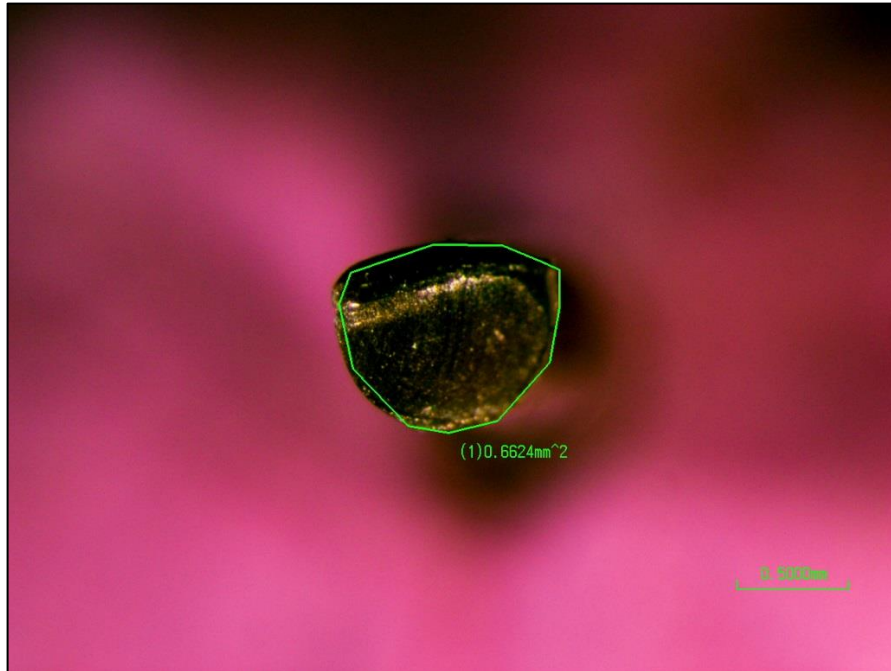


Foto 39. Sección Transversal de la fibra



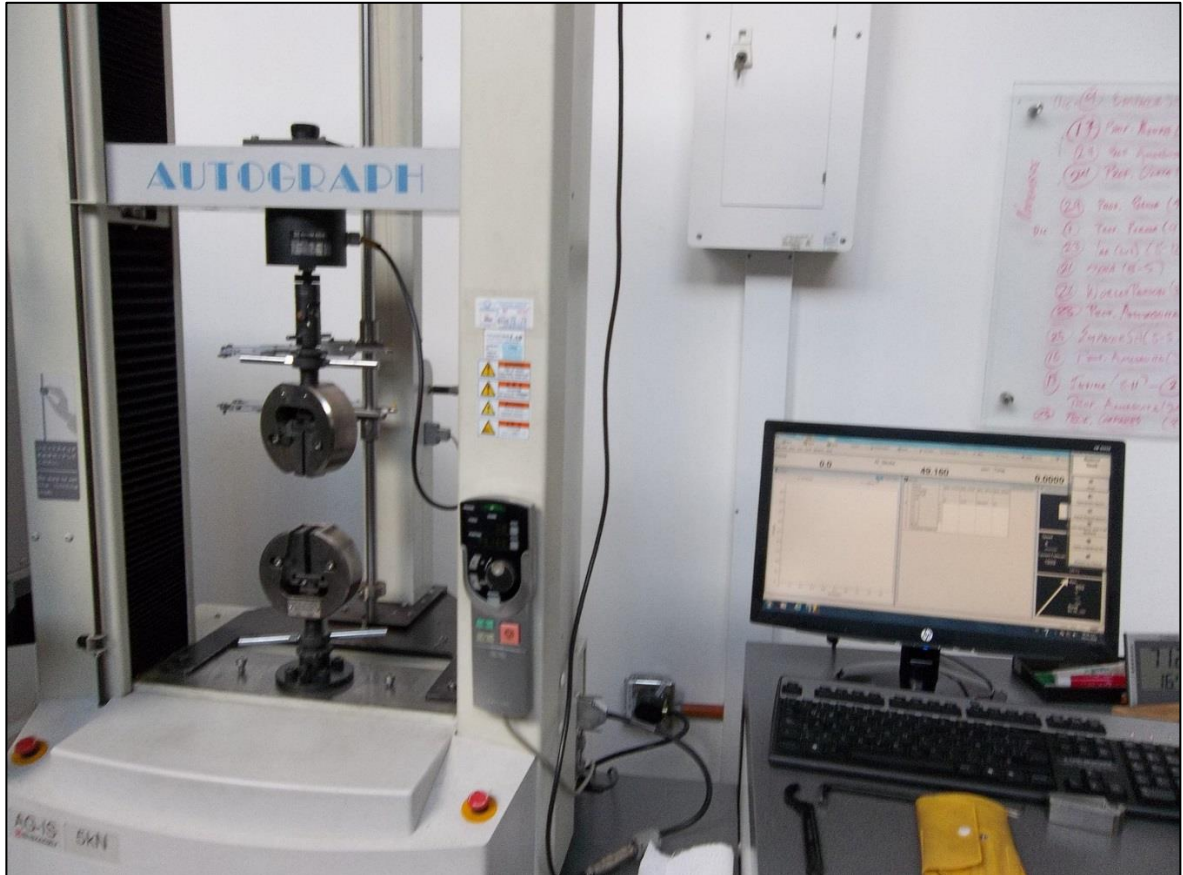
La foto 40, muestra por medio del microscopio, que el proceso de conformado de la fibra de POLYALTEC no es homogéneo, debido a que las acanaladuras de las fibras varían tanto en forma como en longitud, causando reducción del área transversal en algunas secciones a lo largo de ellas.

Foto 40. Acanaladura de la fibra



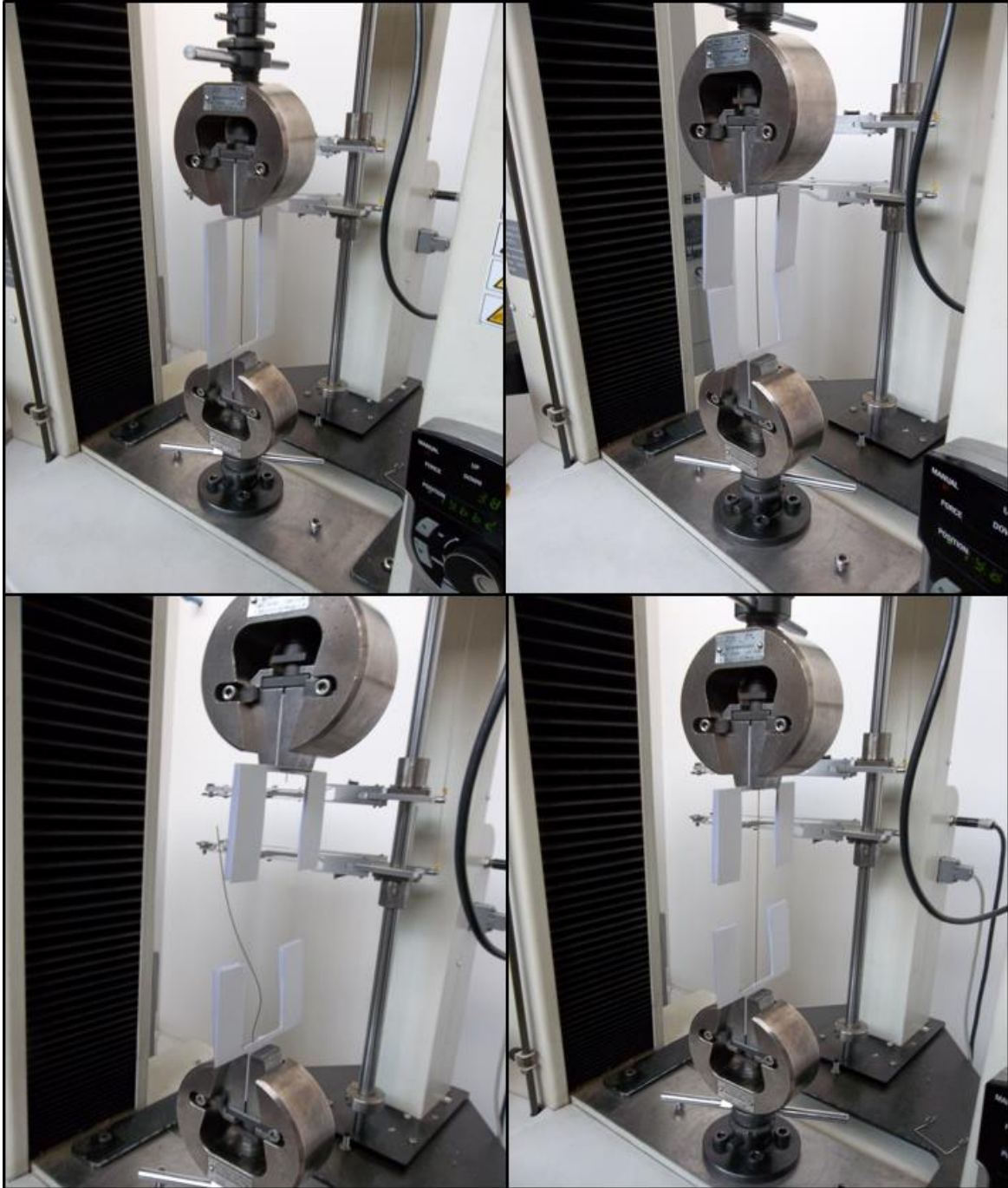
La máquina a utilizar para la prueba, fue suministrada por la Universidad Nacional de Colombia con capacidad máxima de tensión de 5kN marca SHIMADZU la cual se muestra en la foto 41.

Foto 41. Máquina para pruebas de tensión SHIMADZU



En la foto 42, se muestra el montaje de la prueba de tensión y la secuencia de falla de una de las fibras para reforzar concreto “polifibra” de POLYALTEC LTDA.

Foto 42. Secuencia de falla de la “polifibra”



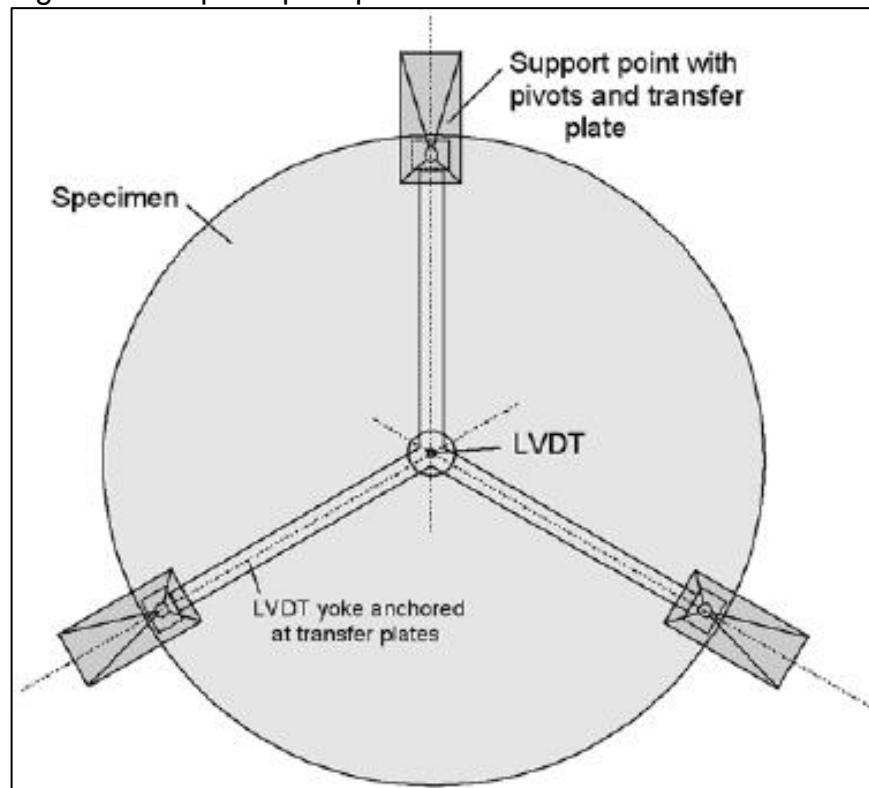
4.4 PRUEBA DE TENACIDAD A FLEXIÓN EN PANEL REDONDO

La finalidad del ensayo de tenacidad a flexión en un panel redondo reforzado con fibra, es responder la siguiente pregunta ¿Cuánta energía puede almacenar el concreto reforzado con fibra hasta que este se fracture?.

Para obtener la respuesta correcta, en primer instancia es necesario remitirse a la norma ASTM C1550, la cual muestra el desarrollo correcto para realizar la falla, de un espécimen redondo de 800 mm de diámetro por 75 mm de espesor, que para este estudio fue reforzado con un porcentaje de fibra del 5% del volumen total, decisión que fue tomada previamente, puesto que el exceso de fibra en una matriz de concreto debilita notablemente el material y su capacidad de cohesión disminuye en su estructura interna.

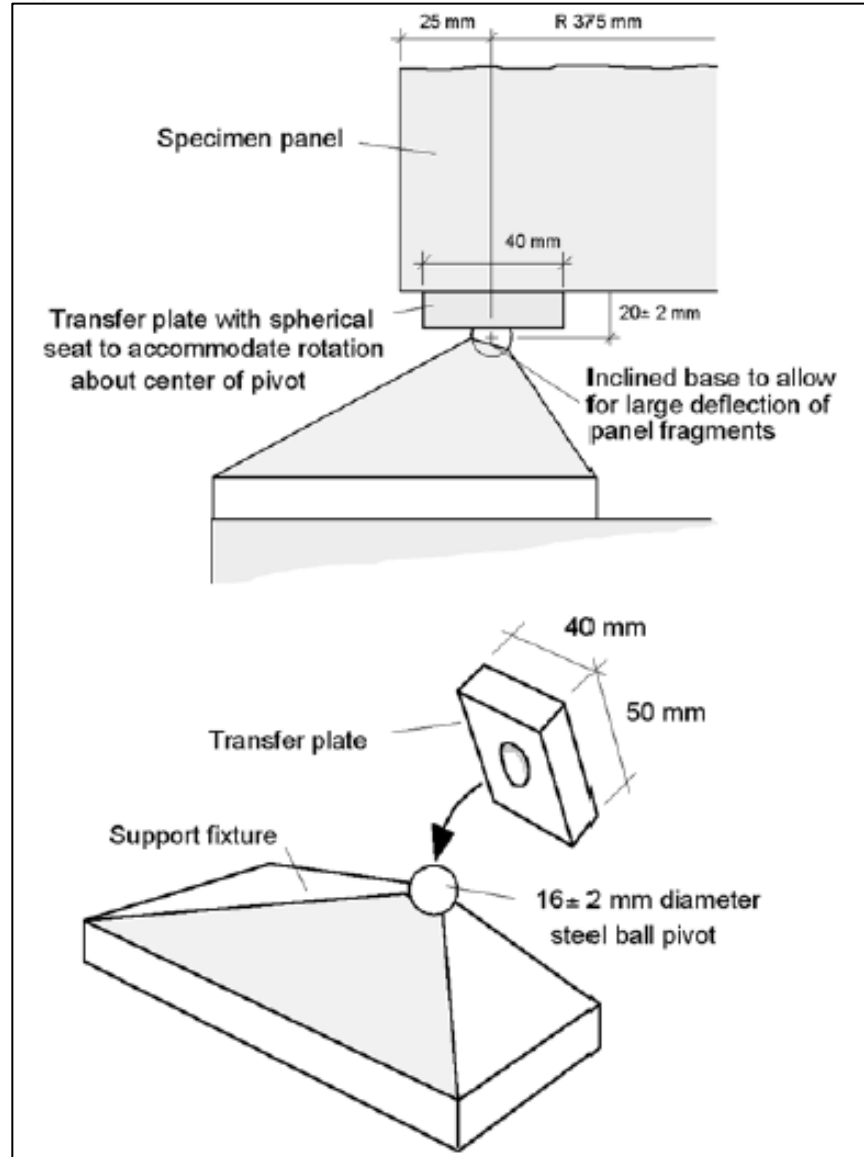
Esta prueba será realizada en laboratorio de estructuras de la Universidad Nacional de Colombia, la cual posee una máquina con capacidad máxima de 20 toneladas, adicional a esto, es necesario tener en cuenta que se requiere de elementos adicionales para poder llevar a cabo la prueba como se muestra en las figuras 17 y 18.

Figura 17. Soporte para prueba de tenacidad



Fuente: ASTM Committee, 'ASTM C1550-12 Standard Test Method for Flexural Toughness of Fiber Reinforced Concrete (Using Centrally Loaded Round Panel)'

Figura 18. Dimensiones del soporte a fabricar



Fuente: ASTM Committee, 'ASTM C1550-12 Standard Test Method for Flexural Toughness of Fiber Reinforced Concrete (Using Centrally Loaded Round Panel)'

Teniendo claras las dimensiones de los soportes necesarios a fabricar la selección y el listado de los materiales es el siguiente:

- ✓ Varilla cuadrada: Perfil 5/8 in y largo 375 mm (3 unidades)
- ✓ Tornillo: G8X5/8"X11UNCX5" (3 unidades)
- ✓ Tuerca: G8X5/8"X11UNC (6 unidades)

✓ Esfera: 18 mm de diámetro (3 unidades)

✓ Paca metálica: 50 mm x 40 mm x 20 mm (3 unidades)

Ahora para fabricar el soporte es necesario disponer las varillas a 120° formando un tipo de “Y” y soldándolas en el centro. El paso a seguir es tomar los 3 tornillos y soldarlos de cabeza en los extremos de las varillas y por último tomar las tuercas y ponerlas en sus respectivos tornillos con contratuerca dejando el espacio necesario para que se asiente la esfera metálica.

Finalmente el conformado final del soporte se puede apreciar en la foto 43.

Foto 43. Soporte fabricado para prueba



4.4.1 Falla de panel redondo reforzado 5% fibra. En la foto 44, se muestra el montaje del panel redondo en la máquina para falla, el cual cuenta con un embolo dispuesto en el centro del montaje, acoplado con un manómetro, para así poder medir constantemente el valor de presión aplicada al panel redondo. Adicional a esto es necesario utilizar un dispositivo que pueda medir la deflexión del material, hasta el punto que se fracture la placa.

Para este caso, de acuerdo con el desarrollo de la prueba de laboratorio, la fuerza final que se obtuvo en el material reforzado con 5% de fibra, fue de 2.300 kN y la deformación máxima al instante de la primer fractura fue de 0,9 mm que se evidencia en la foto 45. Después el material siguió deformándose por efecto del refuerzo y llegó a una deformación de 63 mm hasta que finalmente se quebró totalmente como se muestra en la foto 46.

Foto 44. Montaje panel redondo para falla



Foto 45. Fractura en la parte superior



Foto 46. Fractura en la parte inferior



El método de distribución de la fibra en el volumen de vaciado de las muestras, tanto de viguetas como cilindros y el panel redondo, fue por proceso de riego, por lo cual la orientación de las fibras es de forma no preferente.

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se mostrarán los resultados y análisis de los resultados obtenidos a partir de los ensayos de laboratorio hechos tanto para la fibra como al concreto reforzado con fibra.

5.1 RESULTADOS PRUEBAS DE TENSIÓN EN LA FIBRA

A continuación se muestra el cuadro 4 con el resultado de las pruebas de tensión para la fibra de POLYALTEC LTDA.

Cuadro 4. Resultados de la prueba de tensión para las 5 muestras

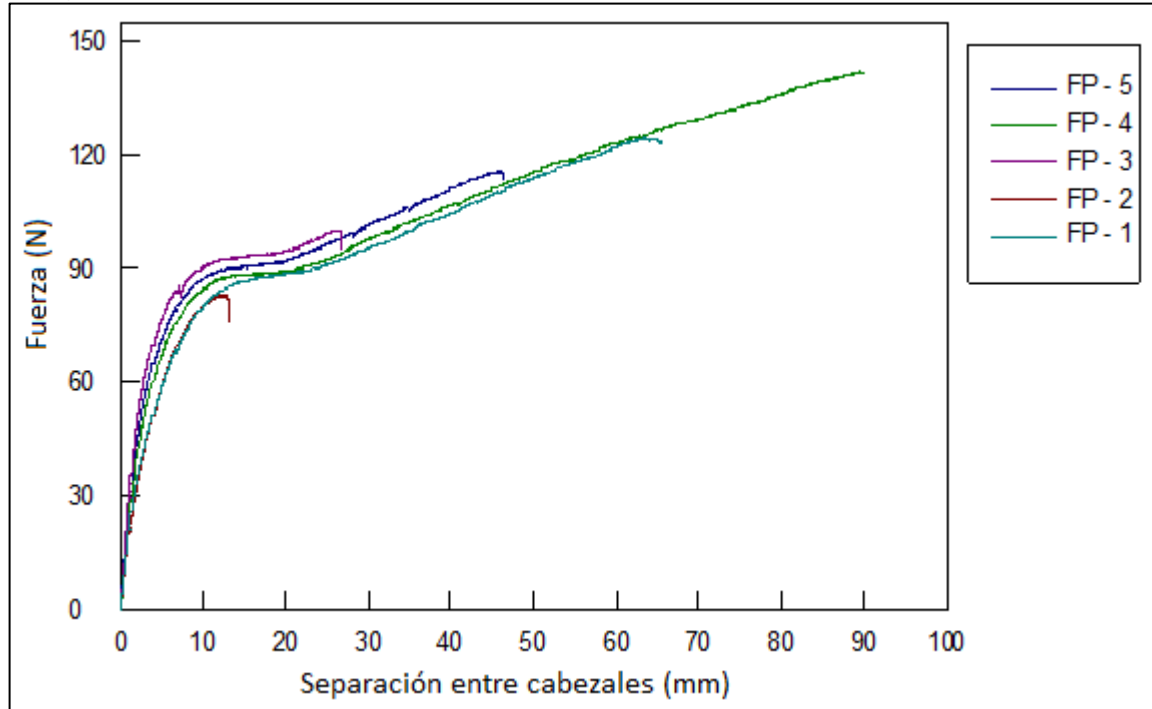
Nombre	Fuerza máxima	Elongación máxima	Esfuerzo máximo	Porcentaje de elongación máxima	Módulo elástico
	<i>N</i>	<i>mm</i>	MPa	%	MPa
Prueba N° 1	124,875	63,506	189,205	43,201	3224,98
Prueba N° 2	83,125	12,565	125,947	8,5479	3050,62
Prueba N° 3	100,469	26,166	152,225	17,8	6306,02
Prueba N° 4	142,469	89,547	215,862	60,916	5074,78
Prueba N° 5	115,938	45,822	175,663	31,171	5515,31
Promedio	113,375	47,521	171,78	32,327	4634,34
Desviación estándar	22,7316	30,424	34,442	20,696	1436,93
Desviación estándar de la media	10,1658	13,6062	15,4031	9,2558	642,614

Lo que se puede apreciar en en cuadro 4, es que el umbral de fuerza máxima entre las fibras es bastante amplio y es necesario normalizar el proceso de producción y conformado de la polifibra.

Adicional a esto al analizar tanto el cuadro como la prueba, se puede decir que el comportamiento de resistencia a tensión de la fibra depende del número de acanaladuras, ya que al reducir el área transversal en algunas secciones a lo largo de la fibra.

5.1.1 Diagrama fuerza vs distancia entre cabezales. A partir de las cinco (5) pruebas de tensión, se muestra para el análisis final del comportamiento de las fibras, el diagrama 1.

Diagrama 1. Fuerza vs separación entre cabezales del total de fibras falladas



Al superponer todas las curvas esfuerzo vs deformación se puede interpretar, que el comportamiento de las fibra es bastante variable, ya que la fuerza máxima que se puede aplicar al material antes de que se fracture, oscila entre valores de 80 N y 130 N, este comportamiento es ocasionado, debido a dos eventos en el proceso de fabricación de la fibra.

El primer evento es la velocidad de extrusión de la fibra, ya que al no tener control de esta variable, se entra en riesgo de obtener secciones transversales variables.

Como segundo evento, el proceso de impresión del perfil escalonado de la fibra cuando se aprecia por medio del microscopio en la foto 40 no es uniforme, lo cual quiere decir que la presión que los rodillos en su proceso de conformación está variando o simplemente el paso de la fibra a través de ellos no es constante.

Finalmente, la no uniformidad de fractura que se evidenció en el laboratorio, podría tratarse de concentradores de esfuerzos, que se aplican a la fibra al momento de la impresión del perfil escalonado por lo cual se recomienda a POLYALTEC LTDA parametrizar la producción de la fibra, estandarizando la velocidad de producción y controlando la presión con la que los rodillos imprimen el escalonamiento.

5.2 RESULTADOS PRUEBAS DE CONCRETO

En los siguientes cuadros se muestra el resumen de los resultados de las pruebas

elaboradas para el concreto.

5.2.1 Cilindros. A continuación se muestra el cuadro 5, con un resumen de falla de los cilindros

Cuadro 5. Resumen falla de cilindros en laboratorio

RESUMEN FALLA DE CILINDROS EN LABORATORIO								
ÁREA	0,017671584 m ²							
PORCENTAJE DE FIBRA	0%		5%		10%		15%	
	FUERZA	ESFUERZO	FUERZA	ESFUERZO	FUERZA	ESFUERZO	FUERZA	ESFUERZO
CILINDRO 1	317,8 kN	17,98 MPa	288,2 kN	16,31 MPa	202,3 kN	11,45 MPa	223,2 kN	12,63 MPa
CILINDRO 2	327,2 kN	18,52 MPa	283,8 kN	16,06 MPa	238,5 kN	13,50 MPa	161,8 kN	9,16 MPa
CILINDRO 3	383,4 kN	21,70 MPa	340,6 kN	19,27 MPa	219,2 kN	12,40 MPa	196,0 kN	11,09 MPa
PROMEDIO	342,8 kN	19,40 MPa	304,2 kN	17,21 MPa	220,0 kN	12,45 MPa	193,7 kN	10,96 MPa
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	28,96 kN	1,64 MPa	25,80 kN	1,46 MPa	14,78 kN	0,84 MPa	25,12 kN	1,42 MPa
DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA MEDIA	16,72 kN	1,17 MPa	14,89 kN	0,84 MPa	8,53 kN	0,48 MPa	14,50 kN	0,82 MPa

5.2.2 Viguetas. A continuación se muestran los cuadros 6, 7, 8 y 9, con un resumen de falla de las viguetas;

Cuadro 6. Resumen falla de vigueta 0% fibra

ÁREA	67.500 mm ²		
PORCENTAJE DE FIBRA	0%		
	FUERZA kN	ESFUERZO MPa	DESPLAZAMIENTO DEL CABEZAL mm
MUESTRA 1	24,70	0,37	----
MUESTRA 2 STRAIN GAGES	20,89	0,31	1,22
PROMEDIO	22,80	0,34	1,22
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	1,90	0,03	0,00

Cuadro 7. Resumen falla de vigueta 5% fibra

ÁREA	67.500 mm ²		
PORCENTAJE DE FIBRA	5%		
	FUERZA kN	ESFUERZO MPa	DESPLAZAMIENTO DEL CABEZAL mm
MUESTRA 1	25,00	0,37	----
MUESTRA 2 STRAIN GAGES	20,72	0,31	1,62
PROMEDIO	22,86	0,34	1,62
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	2,14	0,03	0,00

Cuadro 8. Resumen falla de vigueta 10% fibra

ÁREA	67.500 mm ²		
PORCENTAJE DE FIBRA	10%		
	FUERZA kN	ESFUERZO MPa	DESPLAZAMIENTO DEL CABEZAL mm
MUESTRA 1	25,70	0,38	----
MUESTRA 2 STRAIN GAGES	25,34	0,38	1,75
PROMEDIO	25,52	0,38	1,75
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,18	0,00	0,00

Cuadro 9. Resumen falla de vigueta 15% fibra

ÁREA	67500 mm ²		
PORCENTAJE DE FIBRA	15%		
	FUERZA kN	ESFUERZO MPa	DESPLAZAMIENTO DEL CABEZAL mm
MUESTRA 1	29,90	0,44	----
MUESTRA 2 STRAIN GAGES	21,29	0,32	0,05
PROMEDIO	25,60	0,38	0,05
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	4,30	0,06	0,00

A continuación se muestran los diagramas 2, 3, 4 y 5 de carga vs desplazamiento del cabezal de la máquina, de cada una de las muestras de viguetas con su respectivo refuerzo.

Diagrama 2. Carga vs desplazamiento del cabezal viguetas 0%

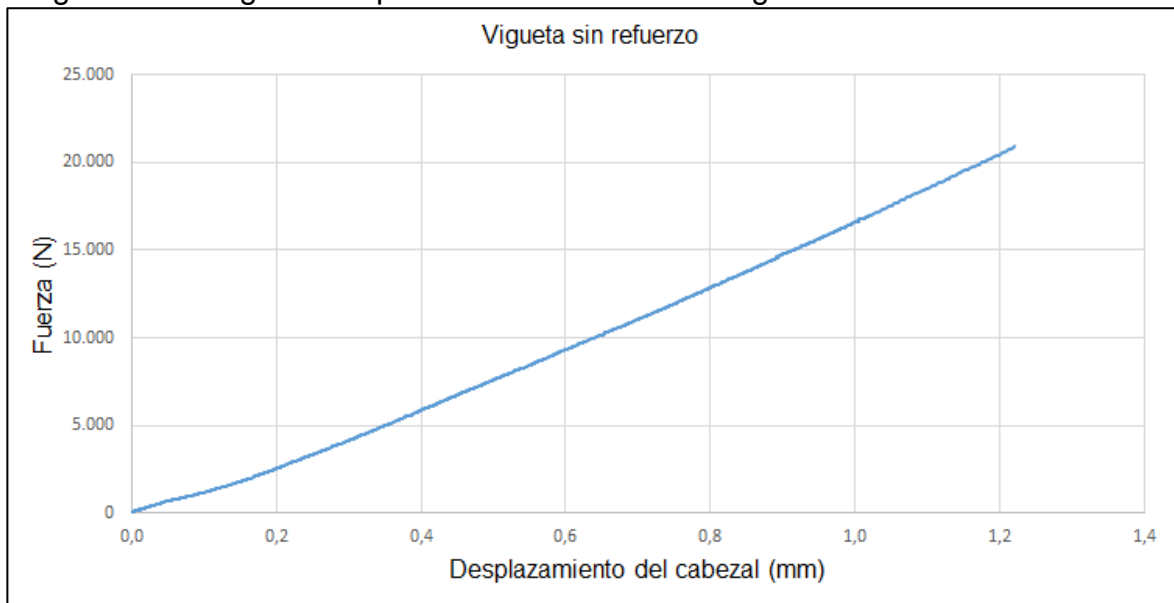


Diagrama 3. Carga vs desplazamiento del cabezal viguetas 5%

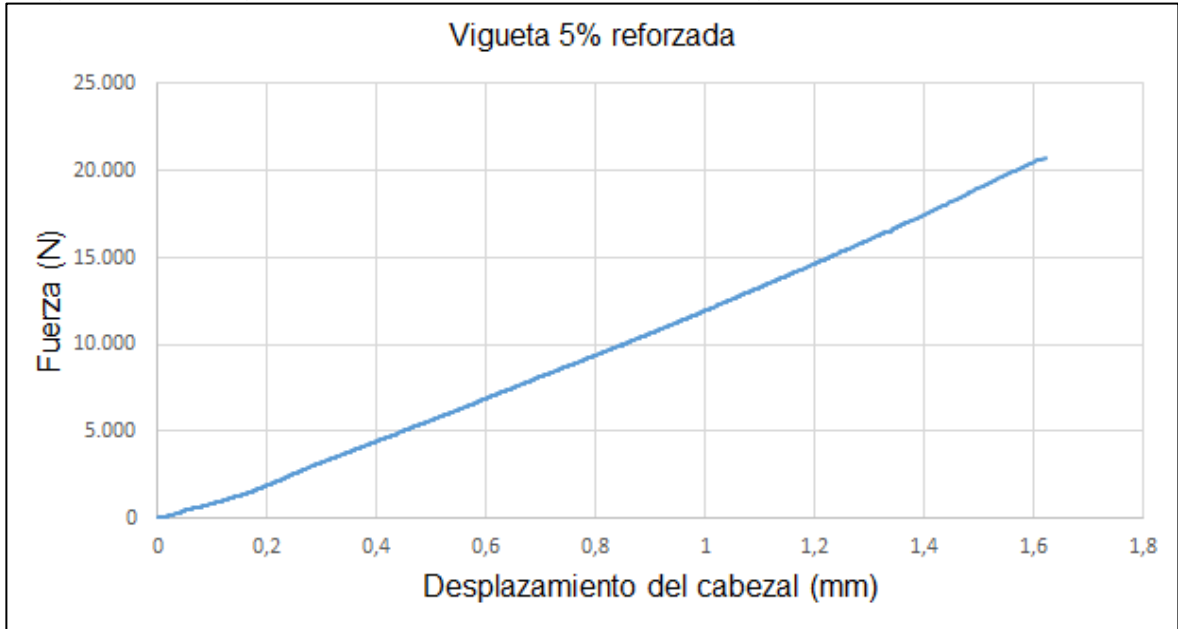


Diagrama 4. Carga vs desplazamiento del cabezal viguetas 10%

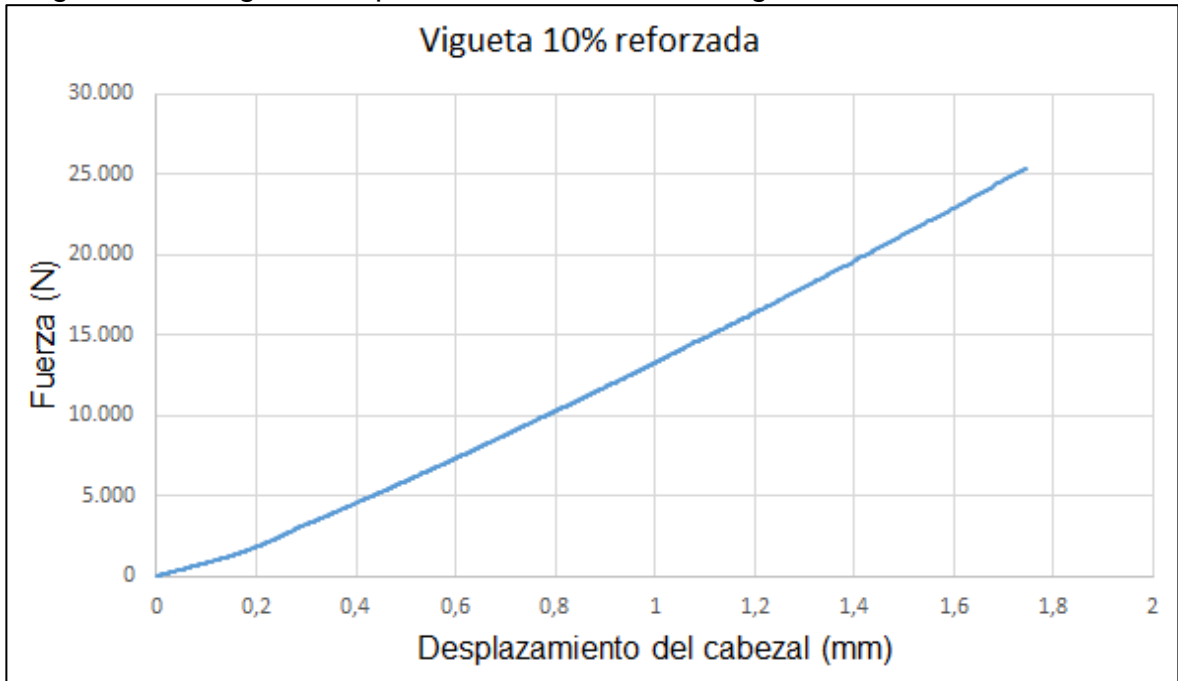
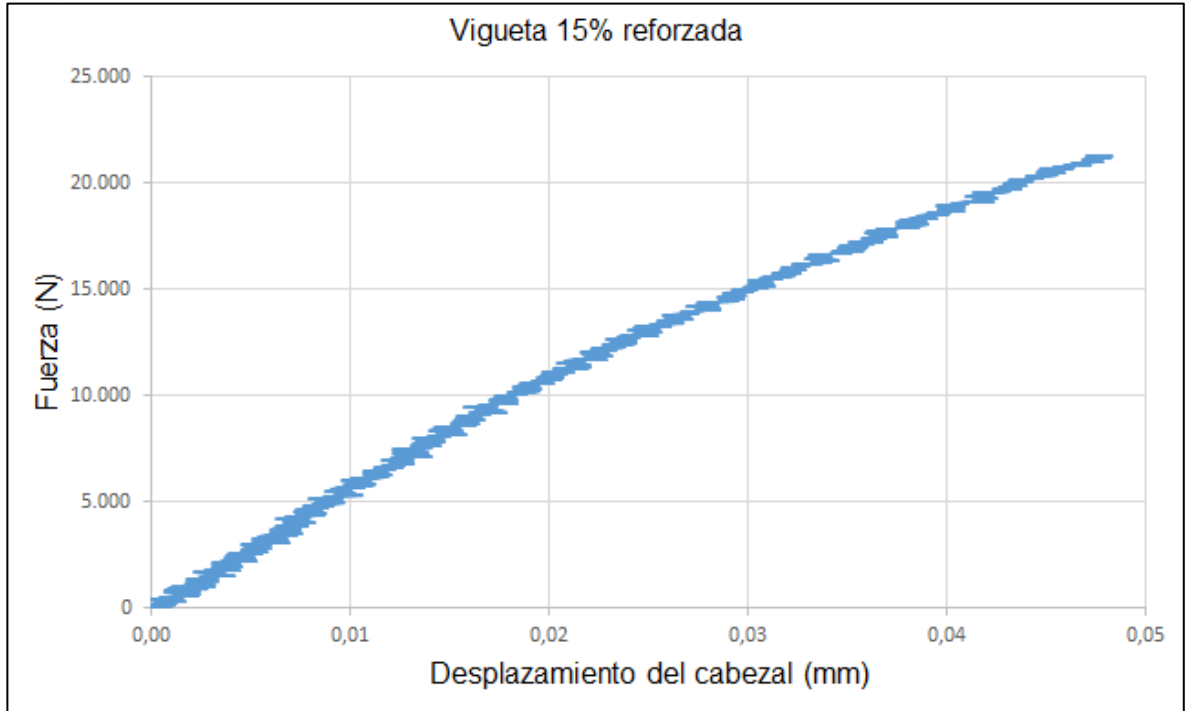
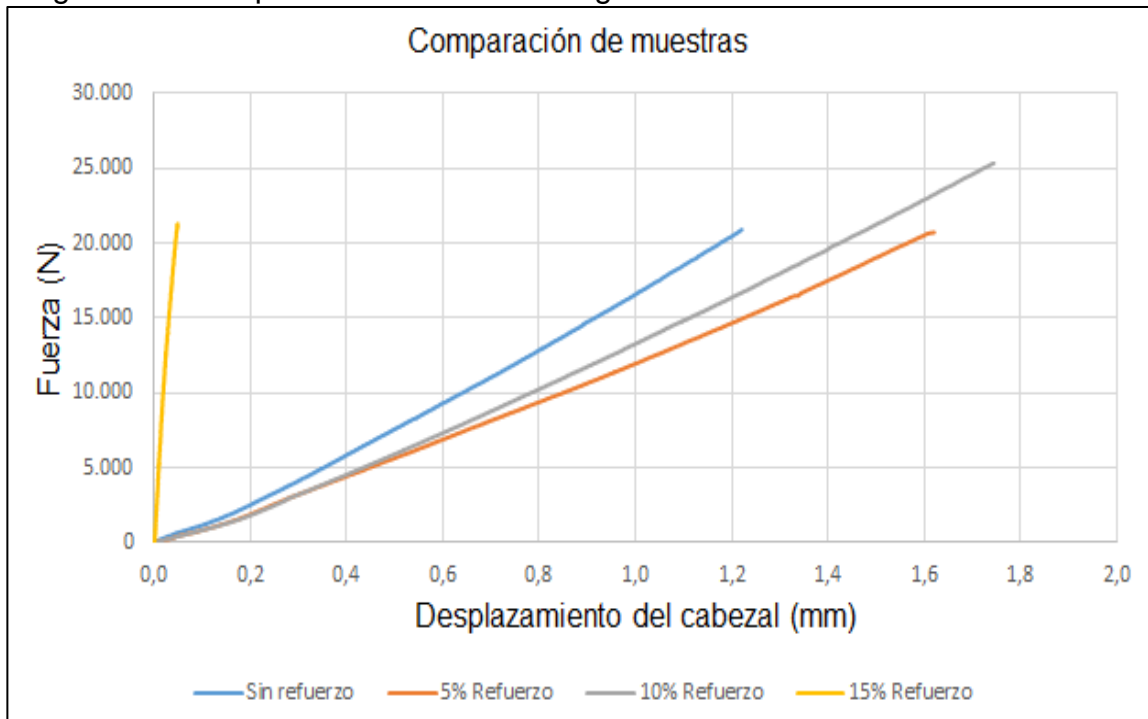


Diagrama 5. Carga vs desplazamiento del cabezal viguetas 15%



En la diagrama 6, se muestra la comparación de los resultados para las fallas de las viguetas.

Diagrama 6. Comparación muestras de viguetas



5.3 FICHA TÉCNICA DE LA FIBRA

En el cuadro 10, está constituida la ficha técnica elaborada a partir del análisis de los resultados de los ensayos de laboratorio, a los que fue sometida la fibra polimérica (POLIFIBRA) de POLYALTEC TLDA.

Cuadro 10. Ficha técnica del material

FIBRA POLIMÉRICA PARA REFUERZO DE CONCRETO	
CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
DESCRIPCIÓN	<p>POLIFIBRA es un refuerzo de fibra de material polimérico el cual disminuye la fragilidad del concreto y aumenta la flexibilidad del concreto.</p> <p>POLIFIBRA está compuesta de filamentos de geometría escalonada la cual se distribuye de forma no preferente, en la mezcla de concreto formando un material semejante a un isotrópico.</p>
USOS	<p>Lozas de concreto de tráfico liviano.</p> <p>Morteros y concretos lanzados.</p> <p>Paneles de material prefabricado.</p>
VENTAJAS	<p>Reducción de figuración en matrices de concreto para reducción de accidentes en alguna contingencia.</p> <p>Reduce la fragilidad del concreto.</p> <p>Aumenta la resistencia al impacto.</p> <p>Aumenta la flexibilidad del concreto</p>
DESVENTAJAS	<p>En dosificaciones del 15% del vaciado de concreto causa una reducción significativa tanto del esfuerzo a compresión como a flexión.</p>
DOSIFICACIÓN	<p>POLYFIBRA se recomienda dosificación aproximada del 5% al 10% del volumen total de vaciado de concreto o 3,5 kg de fibra por metro cúbico.</p> <p>Es necesario utilizar trompo mezclador para homogenizar la mezcla.</p> <p>Se agrega directamente a la mezcla de concreto o al mortero.</p>
DATOS TÉCNICOS (POLIFIBRA)	<p>Tipo: Polipropileno recuperado al 40%, más tereftalato de polietileno y finalmente un colorante para que al momento de la mezcla de una apariencia visual homogénea.</p> <p>Color: Gris</p> <p>Absorción de humedad: 0%</p> <p>Densidad: $1,06 \times 10^{-3} \text{ g/mm}^3$</p> <p>Elongación aproximada: 30,424 mm</p> <p>Resistencia a tracción promedio aproximada: 171,78 MPa</p> <p>Permeabilidad: Indefinida</p>

Cuadro 10. (Continuación)

FIBRA POLIMÉRICA PARA REFUERZO DE CONCRETO	
CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
	Temperatura de Fusión: 150 °C-180 °C Longitud: 60 mm
DATOS TÉCNICOS PARA CONCRETO DE 210 kg/cm^2 (21 MPa) según norma ASTM C31	Según dosificación recomendada al 5% de refuerzo; Carga a compresión promedio aproximada: 304,2 kN Esfuerzo a compresión promedio aproximado: 17,21 MPa Resistencia a flexión promedio aproximada: 22,80 MPa Esfuerzo a flexión promedio aproximada: 0,34 MPa Flexión promedio aproximada: 1,22 mm
PRECAUCIONES	POLYFIBRA no es reemplazo de hierro para diseño de estructuras.
MEDIDAS DE SEGURIDAD	Manténgase Fuera del alcance de los niños. Probable asfixia al ingerir. En caso de ingerir consulte a su médico. Utilizar lentes de seguridad al momento de aplicar.
PRESENTACIÓN	Bolsas de 7 kg

6. SIMULACIÓN

En este capítulo, se muestra la comparación con la realidad del vaciado de concreto de la placa circular, la cual fue fallada anteriormente, frente a un modelo posteriormente simulado en un software de elementos finitos (ANSYS) bajo las condiciones del ensayo desarrollado.

Para la simulación bajo el método de elementos finitos, se asumió el siguiente modelo de materiales mixtos, presentado por Rocio Grimaldi Pastoril y Enrique Alcala Fazio en el documento "Modelos de elementos finitos de componentes de autobuses fabricados en materiales compuestos"²².

Para el módulo de Young se utilizó la siguiente expresión;

$$E_l = E_f V_f + E_m V_m$$

Para el coeficiente de Poisson se utilizó la siguiente expresión;

$$\nu_{lt} = \nu_f V_f + \nu_m V_m$$

Para la densidad del material mixto, se tomó porcentualmente la densidad de cada material, dando como resultado, que la densidad del material mixto era igual a la suma de las dos densidades porcentuales de los materiales que lo componían.

Los resultados de las propiedades del material mixto se muestran en el cuadro 11.

Cuadro 11. Propiedades del material mixto

Módulo de Young (E)	300,75 MPa
Coefficiente de Poisson (μ)	0,33
Densidad (d)	2.966,9 kg/m ³

6.1 PROCEDIMIENTO

Se crea una placa de diámetro (D)= 800 mm y de altura (h)= 75 mm con el eje z, como vector normal a la superficie de la placa.

Se posicionan 3 soportes esféricos, cada uno de 40 mm de diámetro y ubicados en los extremos cada 120°.

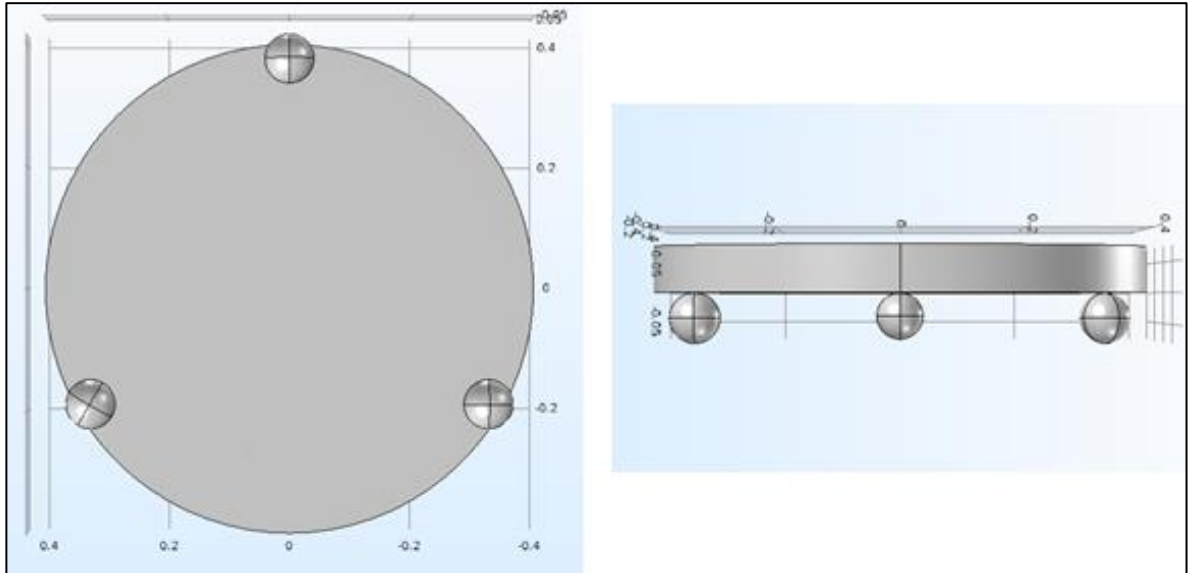
Las coordenadas exactas de estas esferas son (x,y): [0, 3.75], [0.324, -0.1875], [-

22.. GRIMALDI, Rocio, ALCALA, Enrique. Modelos de elementos finitos de componentes de autobuses fabricados en materiales compuestos. 2010. p. 8.

0.324, -0.1875].

El resultado del modelo se puede apreciar en la gráfica 2.

Gráfica 2. Vistas inferior y frontal del resultado del modelo



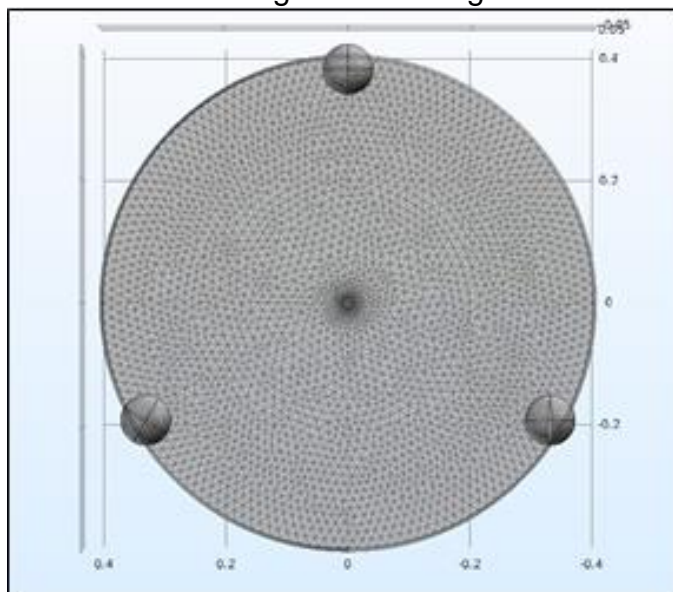
Posteriormente, se asumen los apoyos como restricciones fijas y a la placa se le dan las propiedades del material.

Al modelo se le aplica la propiedad de gravedad en la dirección -z.

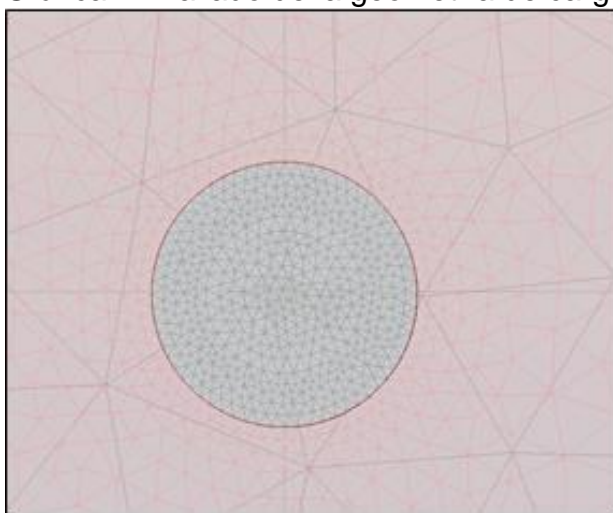
Se crea una superficie concéntrica a la placa de diámetro 100 mm.

En la superficie previamente descrita, se le aplica una carga superficial de 2.300 N en dirección al vector -z. Se procede a mallar toda la geometría basándose en una malla de tetraedros no homogéneos, dando como resultado una geometría compuesta por 185.740 dominios como se muestra en las gráfica 3 y 4.

Gráfica 3. Mallado general de la geometría



Gráfica 4. Mallado de la geometría de carga



Se tomó como referencia un “estudio estacionario para la física de dinámica de un multicuerpo”²³.

Los resultados del volumen de control obtenidos se muestran en el cuadro 12.

23. RODRIGUEZ, Pedro. El cálculo de los materiales compuestos por elementos finitos. 2008 . p. 11.

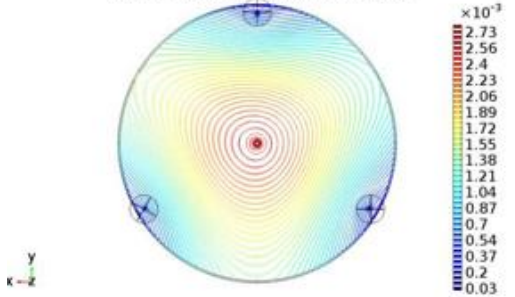
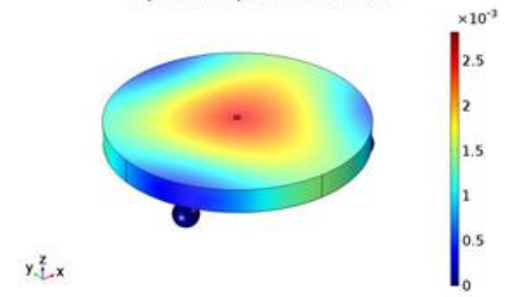
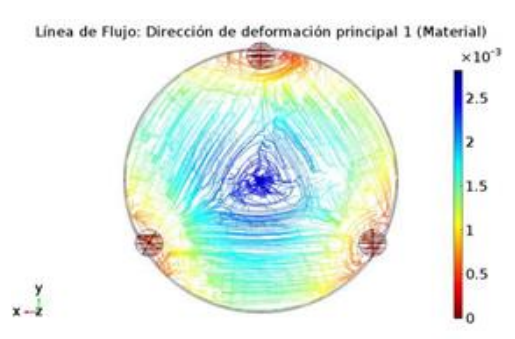
Cuadro 12. Resultados volumétricos obtenidos

Desplazamiento máximo	2,8068 mm
Desplazamiento promedio	1,496 mm
Tensión máxima	37,45 MPa
Tensión promedio	0,1797 MPa
Presión máxima	22,6284 MPa
Presión promedio	7,156 kPa
Esfuerzo de Tresca primario	43,0611 Mpa
Esfuerzo de Tresca máximo	197,522 kPa

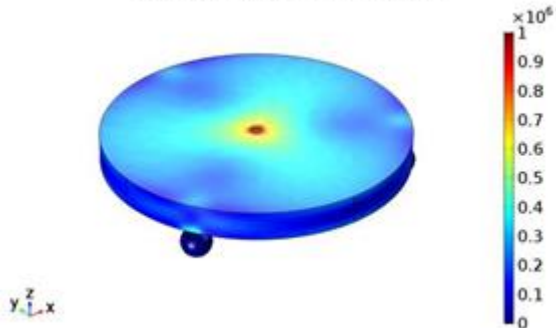
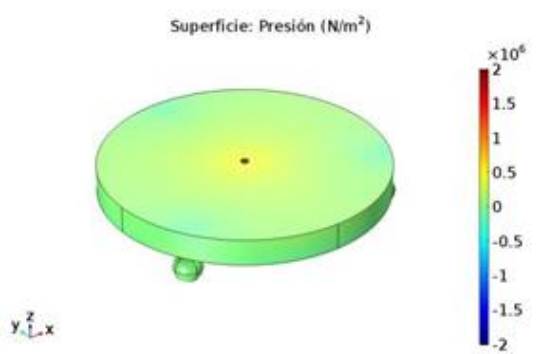
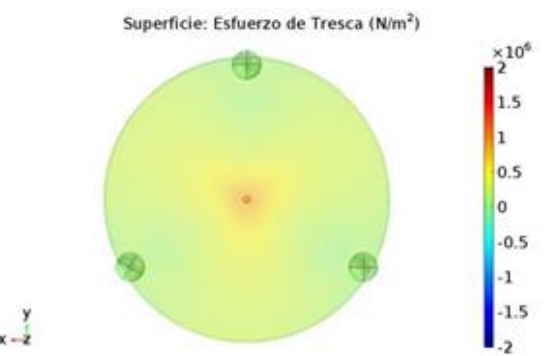

6.2 RESULTADOS GRÁFICOS

Estos fueron los resultados gráficos obtenidos de la simulación del material mixto como se muestra en el cuadro 13.

Cuadro 13. Resultados gráficos

<p>DESPLAZAMIENTO TOTAL POR CURVAS DE NIVEL</p>	<p>Curva de nivel: Desplazamiento total (m)</p> 
<p>DESPLAZAMIENTO TOTAL</p>	<p>Superficie: Desplazamiento total (m)</p> 
<p>DIRECCIÓN DE DEFORMACIÓN PRINCIPAL</p>	<p>Línea de Flujo: Dirección de deformación principal 1 (Material)</p> 

Cuadro 13. (Continuación)

<p>TENSIÓN DE VON MISES</p>	<p>Superficie: Tensión von Mises (N/m²)</p> 
<p>PRESIÓN</p>	<p>Superficie: Presión (N/m²)</p> 
<p>ESFUERZO DE TRESCA</p>	<p>Superficie: Esfuerzo de Tresca (N/m²)</p> 
<p>DESPLAZAMIENTO VECTORIAL</p>	<p>Superficie: Desplazamiento total (m)</p> 

7. COMPARACIÓN DE COSTOS

En este capítulo se hará el respectivo análisis comparativo de fabricación entre una placa de concreto de 12 m^2 de área y 0,1 m de espesor para tráfico liviano, es decir de 2.500 psi a 3.000 psi reforzada con malla electrosoldada contra otra de las mismas dimensiones pero reforzada con fibra polimérica POLIFIBRA de POLYALTEC LTDA.

Comúnmente es utilizada malla electrosoldada de 15 cm x 15 cm y de diámetro de la varilla de 4 mm para tráfico liviano y para la tabla 4, se utilizó el valor del fabricante marca DIACO [Ver Anexo F].

Tabla 4. Costo de fabricación $1,2\text{ m}^3$ de placa con malla electrosoldada

Tipo	Unidad	valor	V / Total
Cemento	500 kg	\$ 600	\$ 300.000
Arena	1.158 kg	\$ 300	\$ 347.400
Grava	884,4 kg	\$ 325	\$ 287.430
Agua	237,6 L	\$ 500	\$ 118.800
Malla electrosoldada 15 cm x15 cm 4 mm	1	\$ 48.500	\$ 48.500
Total			\$ 1.102.130

Ahora según la tabla 5, se tiene el costo de fabricación de la misma placa de concreto pero con POLIFIBRA de POLYALTEC LTDA.

Tabla 5. Costo de fabricación de placa con POLIFIBRA

Tipo	Unidad	valor	V / Total
Cemento	500 kg	\$ 600	\$ 300.000
Arena	1158 kg	\$ 300	\$ 347.400
Grava	884,4 kg	\$ 325	\$ 287.430
Agua	237,6 L	\$ 500	\$ 118.800
POLIFIBRA	2 kg	\$ 1.600	\$ 3.200
Total			\$ 1.056.830

Ahora si se restan los dos valores del costo total del material tanto para la placa hecha con malla electrosoldada y la otra hecha con POLIFIBRA se obtiene la comparación de los costos;

$$\text{Comparacion del costo} = \text{Total malla electrosoldada} - \text{Total POLYFIBRA}$$

Reemplazando;

$$\text{Comparacion del costo} = \$1.102.130 - \$1.056.830 = \$45.300$$

Es necesario resaltar que para $1,2\text{ m}^3$ de concreto, el valor del costo es reducido, pero al incrementarse la producción de concreto, el costo será más significativo.

8. CONCLUSIONES

- ✓ El ahorro económico que se obtiene al utilizar POLIFIBRA para reforzar concreto es significativo en altas cantidades de concreto, ya que la malla electrosoldada posee un valor más alto en el mercado que la misma fibra, lo cual podría representar una reducción de costo importante, a la hora de fabricar concretos para tráfico liviano.
- ✓ La POLIFIBRA en dosificaciones del 15% del volumen total vaciado de concreto, genera una reducción de la resistencia tanto a flexión como a compresión del concreto reforzado.
- ✓ La POLIFIBRA en dosificaciones del 5% al 10%, aumenta la resistencia a flexión del concreto, ya que la disposición interna de orientación no preferente, alivia los esfuerzos internos del concreto, aportándole una pequeña propiedad de tenacidad, debido a la capacidad de elongación y retracción de la fibra.
- ✓ Se generó la ficha técnica de la POLIFIBRA de POLYALTEC LTDA, de acuerdo a las propiedades mecánicas del material en forma individual y como material de refuerzo en el concreto, según un diseño de mezcla de resistencia de 210 kg/m^3 (21 MPa).

9. RECOMENDACIONES

- ✓ Al momento de la mezcla de los agregados con fibra, se recomienda utilizar trompo mecánico para mezclar, ya que la POLIFIBRA se comporta en orientación no preferente, y esto ayudará que la mezcla sea más homogénea.
- ✓ Se recomienda el uso de la POLIFIBRA, para refuerzo en concreto de 210 kg/m^3 (21 MPa) en dosificaciones del 5% al 10% del volumen de vaciado de concreto, ya que aumenta la propiedad de resistencia a flexión, comparado con el concreto sin reforzar.
- ✓ Es de suma importancia no utilizar dosificaciones de POLIFIBRA del 15% del vaciado de volumen de concreto o mayor a $3,5 \text{ kg/m}^3$, ya que reduce la resistencia a compresión del concreto.
- ✓ Se recomienda cambiar los perfiles a lo largo de la POLIFIBRA, tanto su longitud como diámetro, para evaluar, si la resistencia a la hora de reforzar concreto aumenta o disminuye.

BIBLIOGRAFÍA

ASTM, C1018-97. Standard test method for flexural toughness and first-crack strength of fiber-reinforced concrete (using beam with third-point loading). 1997. p. 7.

ASTM COMMITTEE, C1550-12. Standard test method for flexural toughness of fiber reinforced concrete using centrally loaded round panel. 2012. p.14.

ASTM COMMITTEE, C 31/C31M - 96. standard practice for making and curing concrete test specimens in the field. 1996. p. 6.

ASTM D 638, Standard test method for tensile properties of plastics, ASTM International. Designation. 2003. p. 8.

ASTM D 790, Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials. 2000. p. 3.

ASTM INTERNATIONAL, ASTM C995-1. Standard test method for time of flow of fiber-reinforced concrete through inverted slump cone. 2001. p. 2.

ASTM INTERNATIONAL. C 470/470M. Standard specification for molds for forming concrete test cylinders vertically. 2003. p. 5.

ASTM INTERNATIONAL, C78. Standard test method for flexural strength of concrete (using simple beam with third-point loading). p. 3.

ASTM INTERNATIONAL, C42/C42M. Standard test method for obtaining and testing drilled cores and sawed beams of concrete. 2013. p. 7.

CONCRELAB S.A, J.E. JAIMES INGENIEROS S.A., Diseño de mezcla de concreto, 2015, p. 8.

CRISTINA, Patricia. Hormigones con Fibras de Acero Características Mecánicas Hormigones con Fibras de Acero Características Mecánicas. Master, 2010. p. 81.

GRIMALDI, Rocio, ALCALA, Enrique. Modelos de elementos finitos de componentes de autobuses fabricados en materiales compuestos. 2010. p. 8.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN, NTC 3696. Método de ensayo para determinar el tiempo de fluidez del concreto reforzado con fibras a través del cono de asentamiento invertido. 2008. p. 5.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN, NTC 550. Elaboración de especímenes de concreto en obra. 2008. p. 5.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN, NTC 1486. Presentación de tesis , trabajos de grado y otros trabajos de investigacion. 2008. p. 41.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN, NTC 4490. Referencias documentales para fuentes de información electrónicas. 1998. p. 27.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN, NTC 5613. Referencias bibliográficas. contenido, forma y escritura. 2008. p. 38.

MACCAFERRI, Bruno Luis. Manual Técnico. Fibras como elemento estructural para el refuerzo del hormigón 2005. p. 251.

MARTÍNEZ, Edson. Evaluación del comportamiento frente a cargas laterales de elementos estructurales utilizados en mampostería confinada, mediante la sustitución del agregado grueso por fibras comerciales. Universidad de Carabobo, 2013. p. 50.

RODRIGUEZ, Pedro. El cálculo de los materiales compuestos por elementos finitos. 2008 . p. 11.

SIKA, Concreto refozado con fibras. 2010. p. 6

VASQUEZ,Mendoza, Analisis del esfuerzo residual en concretos para pavimentos reforzados con fibras metalicas y sinteticas. Vol 2. 2012. p. 69.

ANEXOS

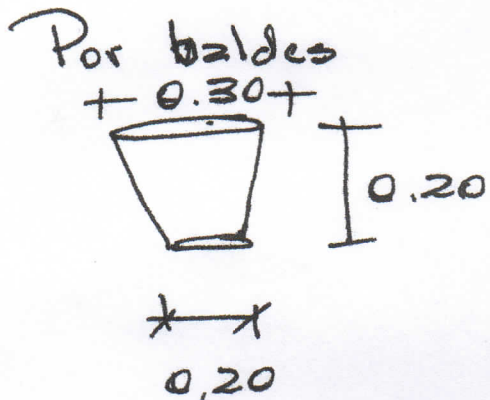
ANEXO A
DISEÑO DE MEZCLA

Cuadro comparativo diseño de mezclas

Proporción en masa 1: 2,5: 1,9 3/1n Concretab

Arena $33,0 \times 33,0 \times 28$, cm (3 veces)

Grava $33,0 \times 33,0 \times 34$, cm (2 veces)



Cemento 50 kg = 4 baldes

→ Cemento = 4 baldes

Arena = $4 \times 2,5 = 10$ baldes

Grava = $1,9 \times 4 = 7.6$ baldes.

Baldes → 4: 10: 7.6

[Handwritten signature]

Bogotá, 29 de abril de 2015
Ref. DPD - 0521 - 15

Ingeniero
NESTOR MAURICIO DÍAZ
J.E. Jaimes Ingenieros S.A.
Obra: Nueva Esperanza
Bogotá D.C.

J.E. JAIMES INGENIEROS S.A.
RECIBIDO PARA ESTUDIOS, NO APLICA
ACEPTACION ALGUNA
FECHA June H
May. 15. 15

Asunto: Diseño de mezcla de Concreto

Estimado Ingeniero Díaz:

El siguiente informe consta de ocho páginas y contiene los resultados de los ensayos de laboratorio para la caracterización física de agregados procedentes de la obra de la referencia. A partir de los resultados obtenidos se dosificaron dichos materiales para una mezcla de concreto para 210 kg/cm^2 (21 MPa) con un asentamiento de 75 mm (3"). Las muestras fueron tomadas y enviadas por ustedes a nuestro laboratorio.

RESULTADOS

MATERIALES EMPLEADOS

- Cemento Tequendama tipo I (Bulto)
- Arena de río
- Grava tamaño máximo 25 mm
- Agua

1.2. CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS AGREGADOS

1.2.1. Granulometría: Ver gráficos anexos.

	Arena	Grava
1.2.2. Módulo de finura:	3,37	----
1.2.3. Tamaño máximo mm:	----	25
1.2.4. Tamaño máximo nominal mm:	----	25
1.2.5. Contenido de materia orgánica (ensayo colorimétrico):	2	----
1.2.6. Absorción %:	1,48	2,58
1.2.7. Densidad aparente (g/cm ³):	2,57	2,38
1.2.8. Densidad sss (g/cm ³):	2,61	2,44
1.2.9. Densidad nominal (g/cm ³):	2,68	2,53
1.2.10. Masa unitaria suelta sss (kg/m ³):	1380	1294
1.2.11. Masa unitaria apisonada sss (kg/m ³):	1490	1449

1.3. CARACTERISTICAS FISICAS DEL CEMENTO TEQUENDAMA TIPO I

1.3.1. Densidad (g/cm³): 2,962
1.3.2. Finura Blaine (cm²/g): 4186

1.4. RESISTENCIA DE DISEÑO

Los proporcionamientos para el diseño de mezcla se hicieron según los requerimientos descritos en el capítulo C5, tabla C.5.3.2.2 NSR-10 (NORMAS COLOMBIANAS DE DISEÑO Y CONSTRUCCION SISMORESISTENTE). Resistencia promedio requerida a la compresión cuando no hay datos que permitan determinar la desviación estándar.

RESISTENCIA A 28 DIAS (f_c)

$$21 \text{ MPa} \leq f'_c \leq 35 \text{ MPa} \quad f'_{cr} = f'_c + 8,3 \text{ Mpa}$$

1.4.1. PROPORCIONES DE LOS MATERIALES EN CONDICION SSS

1.4.1.1. Por metro cúbico de concreto

	EN MASA	EN VOLUMEN
- Cemento	380,0 kg	7,6 bultos de 50,0 kg
- Arena	965,0 kg	0,699 m ³
- Grava	737,0 kg	0,570 m ³
- Agua	-----	198,0 litros

1.4.1.2. Por bulto de cemento de 50,0 kg

	EN MASA	EN VOLUMEN
- Cemento	50,0 kg	1,0 bultos
- Arena	127,0 kg	92,0 litros
- Grava	97,0 kg	75,0 litros
- Agua	-----	26,1 litros

1.4.1.3. Proporciones en masa : 1 : 2,5 : 1,9

En caso que se decida producir el concreto dosificado en volumen, para medir las cantidades de material se podrán utilizar cajones de madera con las siguientes medidas interiores:

Arena: 33,0 X 33,0 X 28,0 cm (3 veces)

Grava: 33,0 X 33,0 X 34,0 cm (2 veces)

Se mezclará un bulto de cemento Tequendama tipo I de 50,0 kg , tres (3) cajones llenos rasos de arena, dos (2) cajones llenos rasos de grava y aproximadamente 26,1 litros de agua.

NOTAS:

1. Se deben elaborar cilindros de prueba para establecer el grado de control en la producción del concreto en obra.

2. Ajustes al agua de mezclado:

Teniendo en cuenta que la humedad de absorción no hace parte del agua de mezclado se deben realizar los siguientes ajustes:

2.1. Cuando la humedad natural es mayor que la absorción (Agua libre).

El agua de mezclado se debe disminuir en una cantidad igual al agua libre que contengan los agregados.

2.2. Cuando la humedad natural es menor que la absorción.

El agua de mezclado se debe incrementar en una cantidad igual a la diferencia entre la humedad natural y la absorción.

3. Ajuste a la masa de los agregados:

Como la condición de diseño considera la masa de los agregados en estado sss, se deben realizar los ajustes para una condición de humedad diferente así:

3.1. Cuando la humedad natural es mayor que la absorción (Agua libre).

La masa de los agregados se debe incrementar en una cantidad igual a la masa del agua libre.

3.2. Cuando la humedad natural es menor que la absorción.

La masa del agregado se debe disminuir en una cantidad igual a la diferencia entre la absorción y la humedad natural.

Los ensayos se realizaron según los procedimientos descritos en las normas técnicas NTC 33, NTC 221, NTC 3674, NTC 77, NTC 78, NTC 176, NTC 237, NTC 92 y NTC 127.

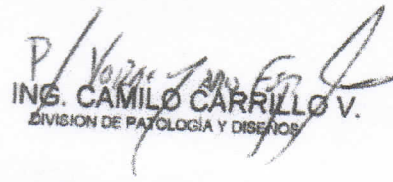
Los resultados de los ensayos corresponden exclusivamente a las características de las muestras ensayadas.

Gustosamente suministraremos cualquier información al contenido del presente informe.

Atentamente,


FRANCISCO DÍAZ
COORD. DIV. DE PATOLOGÍA Y DISEÑOS

Lab. F. Yondapiz
OTP 23432


ING. CAMILO CARRILLO V.
DIVISION DE PATOLOGIA Y DISEÑOS

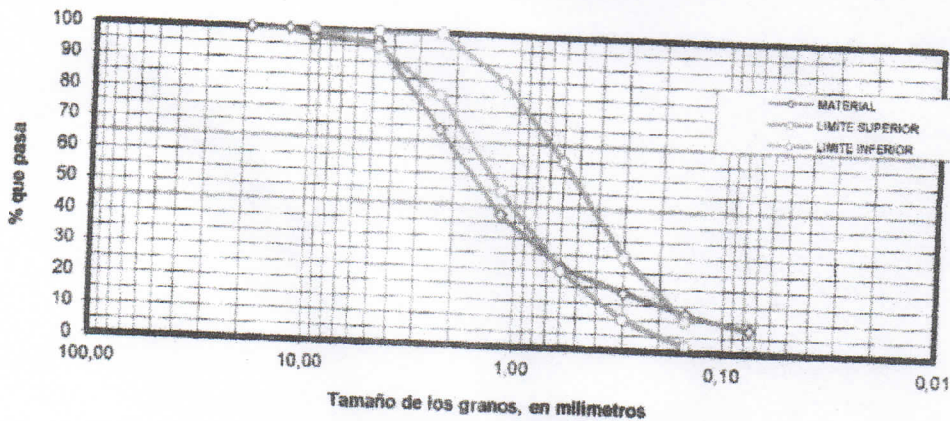
COMPANIA	J.E. JAIMES INGENIEROS S.A.	Ref: DPD-0521-15
OBRA	NUEVA ESPERANZA	Laboratorista: F. YONDAPIZ
DESCRIPCION	Arena de río	Fecha: 2015-04-29
CANTERA		Ingeniero: J. ESPITIA
NORMA	NTC 77 - 2007 NTC 78 - 1995	Página: 6 de 8

Masa Inicial		Masa		Masa Seca después de		LIMITES	
Seca g	1503,0	Final g	1503,0	Lavado g	1392,0	SUPERIOR	INFERIOR
tamiz	mm.	masa ret. g	%ret.	% acum.	% que pasa		
3/4"	19,00	0,0	0,0	0,0	100,0		
1/2"	12,50	0,0	0,0	0,0	100,0		
3/8"	9,51	37,2	2,5	2,5	97,5	100	100
4	4,75	13,7	0,9	3,4	96,6	100	95
8	2,36	414,7	27,6	31,0	69,0	100	80
16	1,18	400,4	26,6	57,6	42,4	85	50
30	0,80	242,5	16,1	73,8	26,2	60	25
50	0,30	113,4	7,5	81,3	18,7	30	10
100	0,15	95,7	6,4	87,7	12,3	10	2
200	0,075	69,8	4,6	92,3	7,7		
	Fondo	115,6	7,7	100,0			
	TOTAL	1503,0	100,0				
MÓDULO DE FINURA		3,37					

CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA (ENSAYO COLORIMETRICO) NTC 127

2

TAMICES "US STANDARD"



Atentamente,

FRANCISCO DIAZ

COORD. DIV. DE PATOLOGIA Y DISEÑOS

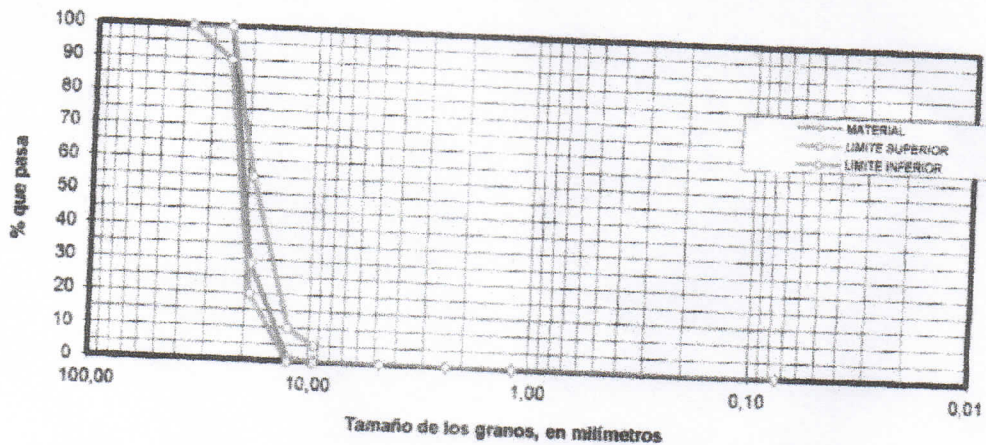
F-272 (Actualización 2013-10-20)

ING. JORGE M. ESPITIA Z.
DIVISION DE PATOLOGIA Y DISEÑOS

COMPANIA	J.E. JAMES INGENIEROS S.A.	Ref: DPD-0621-15
OBRA	NUEVA ESPERANZA	Laboratorista: F. YONDAPIZ
DESCRIPCION	Grava tamaño máximo 25 mm	Fecha: 2015-04-29
CANTERA		Ingeniero: J. ESPITIA
NORMA	NTC 77 - 2007 NTC 78 - 1995	Página: 7 de 8

Masa inicial seca g		Masa Final g		Masa seca después de lavado g		LIMITES	
tamiz	10016 mm.	masa ret.	10015,8 %ret.	% acum.	10011 % que pasa	SUPERIOR	INFERIOR
2 1/2"	63,0	0,0	0,0	0,0	100,0		
2"	50,00	0,0	0,0	0,0	100,0		
1 1/2"	37,50	0,0	0,0	0,0	100,0		
1"	25,00	0,0	0,0	0,0	100,0	100	100
3/4"	19,00	7108,0	71,0	71,0	29,0	100	90
1/2"	12,50	2788,0	27,8	98,8	1,2	55	20
3/8"	9,50	112,0	1,1	99,9	0,1	10	0
4	4,75	0,0	0,0	99,9	0,1	5	0
8	2,36	0,0	0,0	99,9	0,1		
16	1,18	0,0	0,0	99,9	0,1		
200	0,075	1,7	0,0	99,9	0,1		
Fondo		6,1	0,1	100,0			
TOTAL		10015,8	100,0				

TAMICES "US STANDARD"



Atentamente,

FRANCISCO DIAZ

COORD. DIV. DE PATOLOGIA Y DISEÑOS

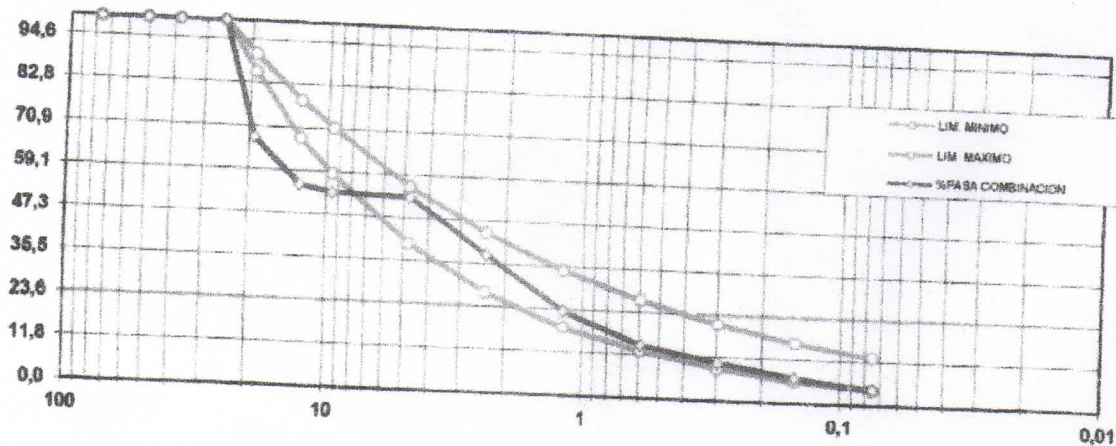
ING. JORGE M. ESPITIA Z.

DIVISION DE PATOLOGIA Y DISEÑOS

COMPañIA	J.E. JAIMES INGENIEROS S.A.	Ref: DPD-0521-15
OBRA	NUEVA ESPERANZA	Laboratorista: F. DÍAZ
DESCRIPCIÓN	Combinación 45% Grava - 55% Arena	Fecha: 2015-04-29
MUESTRA	OTP 23432	Ingeniero: J. ESPITIA
		Página: 8 de 8

**LIMITES
GRANULOMETRICOS**

ABERTURA DE TAMIZ (mm)	% PASA METODO FULLER-THOMSON		% PASA		%PASA COMBINADO 40%G - 60%A
	MINIMO	MAXIMO	GRAVA	ARENA	
76,1	100,0	100	100,0	100,0	100,0
50,8	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
38,1	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
25,4	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
19,1	86,0	90,8	29,0	100,0	100,0
12,7	68,3	78,5	1,2	100,0	68,1
9,51	58,7	71,3	0,1	100,0	55,5
4,76	40,3	56,1	0,1	97,5	53,7
2,38	27,6	44,0	0,1	96,6	53,2
1,19	18,8	34,5	0,1	69,0	38,0
0,595	12,9	27,1	0,1	42,4	23,3
0,297	8,8	21,3	0,1	26,2	14,5
0,149	6,0	16,7	0,1	18,7	10,3
0,075	4,1	13,1	0,1	12,3	6,8
				7,7	4,3



Atentamente,

Francisco Díaz
FRANCISCO DÍAZ
COORD. DIV. DE PATOLOGÍA Y DISEÑOS

Jorge M. Espitia Z.
ING. JORGE M. ESPITIA Z.
DIVISION DE PATOLOGIA Y DISEÑOS

ANEXO B

LISTADO DE PRECIOS CONTECON URBAR

Bogotá D.C, 07 de octubre de 2016

CM-6392-16

Señores

MESA GIRALDO JUAN DAVID

Obra: POLIFIBRA- DE POLYALTEC LTDA

Atn: Sr. Juan David Mesa Giraldo

Respetados Señores

El Laboratorio de control de calidad de materiales CONTECON URBAR S.A.S., se complace en ofrecer sus productos y servicios. Contando con el apoyo de un equipo técnico profesional, consolidado a través de 354 años de experiencia.

Actualmente, nuestra empresa se encuentra acreditada en las sucursales de Bogotá, Medellín, Barranquilla, Bucaramanga y Cali por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC) bajo la norma NTC ISO/IEC 17025:2005 competencia de Laboratorios de Ensayo y Calibración. Igualmente contamos con la Licencia de Manejo y Transporte de Material Radiactivo expedida por Servicio Geológico Colombiano, para el manejo seguro de los Densímetros Nucleares (Licencia # 5103).

A continuación exaltamos algunos de los beneficios que nos diferencian en el mercado y son la prueba fehaciente de nuestro compromiso con sus proyectos.

ANTES DE TOMAR SU DECISIÓN TENGA EN CUENTA LO SIGUIENTE

- **Sistema de Información de resultados, el cual puede acceder nuestro cliente vía Internet, las 24 horas del día y los siete días de la semana. Esto evitara tener que comunicarse para obtener sus resultados.**
- **Soporte técnico desde la Gerencia hasta su grupo de Ingenieros con respaldo de más de 30 años.**
- **Cámara húmeda con control de temperatura y humedad para el curado de sus muestras.**
- **Prensas hidráulicas totalmente sistematizadas y Densímetros Nucleares.**
- **Amplia flotilla de vehículos, dotada de un continuo sistema de comunicación, que nos permite cumplir a tiempo con los requerimientos de sus proyectos.**
- **Le garantizamos total confianza, seguridad y compromiso con todos sus proyectos.**
- **Condiciones comerciales únicas para garantizarle la mejor propuesta.**

1. Objetivo

El objetivo de la propuesta va encaminado a llevar un control estricto y riguroso de los diferentes materiales suministrados en sus obras. Para esto realizaremos todos los ensayos que sean necesarios en las instalaciones de nuestro Laboratorio. A partir de los resultados de estas prácticas y de su adecuada interpretación, se generará un informe en donde se darán a conocer los resultados obtenidos.

LABORATORIOS CONTECON URBAR AHORA FORMA PARTE DE SGS, EMPRESA LÍDER MUNDIAL EN INSPECCIÓN, VERIFICACIÓN, ANÁLISIS Y CERTIFICACIÓN.

2. Servicios Prestados

Nuestro Laboratorio le ofrece los diferentes servicios descritos a continuación:

- Ensayos físicos de laboratorio
- Diseño de mezclas
- Pruebas destructivas sobre estructuras de concreto (núcleos)
- Pruebas no destructivas sobre estructuras de concreto
- Ensayos en suelos y pavimentos
- Alquiler y venta de equipos
- Diagnostico y evaluación de estructuras de concreto
- Asesorías técnicas de concreto
- Ensayos de patología del concreto

Para los ensayos de laboratorio en Obra, las visitas se realizarán en el momento que ustedes las soliciten con una adecuada programación según nuestra disponibilidad.

La toma de densidades de terreno se estableció en tres rangos según la cantidad de densidades que se toman en cada visita de la siguiente forma:

- De 1 a 3 densidades en una misma visita.
- De 4 a 10 densidades en una misma visita.
- De 11 densidades en adelante en una misma visita.

El valor unitario se liquidará según los tres rangos anteriores de acuerdo al listado de precios vigentes de este año. Con esta tarifa diferencial usted podrá acceder a tomar más pruebas en campo a un costo más bajo.

En caso de encontrar alguna anomalía en los resultados de laboratorio de su obra, el laboratorio se comunicará inmediatamente con ustedes con el fin de darle una pronta solución al problema.

Cuando se requiera capacitación de operarios en procedimientos de Control de Calidad, el laboratorio cuenta con cursos previamente preparados, que estaremos dictando cuando la obra lo requiera.

3. Valor de la propuesta

El valor de la propuesta está sujeto a la cantidad de ensayos que se deban realizar en su obra, de acuerdo a los valores unitarios de nuestra lista de precios. Estos precios no incluyen IVA. Ver anexo.

4. Forma de Pago

Para la prestación de este servicio se solicita un anticipo de **\$ 500.000**, si el monto total de los trabajos que va a realizar con el laboratorio no supera el valor del anticipo se le devolverá el excedente con previa autorización escrita. Pero si supera el valor consignado, los informes se suministrarán en **CONTRAENTREGA**.

5. Vigencia

Esta propuesta tendrá vigencia de 90 días a partir de la fecha.

SGS



6. Condiciones entrega de Informes

Para la recolección de muestras se fijará una frecuencia en común acuerdo con el cliente.

La entrega de informes estará condicionada al procedimiento, tipo de ensayo y turno de llegadas de las muestras al laboratorio. Los informes en físico se entregaran entre 8 y 45 días dependiendo del ensayo, en caso de exceder el tiempo el laboratorio se pondrá en contacto con el cliente.

Los resultados de los ensayos de concreto, morteros, mampostería y densidades los podrán consultar en nuestra plataforma de servicios, www.contecon.com.

7. Iniciación de la Prestación de Servicios

Para formalizar esta oferta se debe firmar la orden de servicio anexa.

Esperamos que esta propuesta cumpla con sus expectativas y quedamos a su disposición para cualquier aclaración sobre la misma.

Cordialmente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Pamela Vergara', is written over a faint, repeating watermark of the company logo.

PAMELA VERGARA VANEGAS

Jefe Comercial

Anexos: Lista de precios, Orden de Servicio.

Confidencialidad

La información contenida en esta oferta o propuesta de invitación tiene el carácter de confidencial. Las personas destinatarias de la misma deberán guardar reserva sobre ésta y únicamente podrán hacer uso de ella para efectos informativos y para tomar la decisión de contratar los servicios ofrecidos en este documento. En contravención de este deber, se deberán indemnizar los perjuicios causados a Laboratorios Contecon Urbar S.A.S No se considera violación de la confidencialidad, cuando la información deba ser entregada a autoridad competente previa solicitud o cuando sea de conocimiento público. No se otorgan derechos de propiedad o disposición respecto a la información suministrada.



Cotización #: 6392 - 2016

Fecha: 07/Oct/16

**LISTA DE PRECIOS
POLIFIBRA- DE POLYALTEC LTDA**

Empresa: MESA GIRALDO JUAN DAVID

Sr. Juan David Mesa Giraldo

ENSAYOS FISICOS DE LABORATORIO		
Código	CONTROL DE MEZCLAS	Valor Neto
410301	*Ensayo a Compresión de Cilindros (NTC 673-2010/NTC 3546-2003)	\$3,500
410302	*Módulo de Rotura Sobre Viguetas (NTC 2871-2004)	\$25,000
410313	Ensayo a compresión de Testigos	\$3,500
410314	Cilindros Testigos Programados - Curados y NO Ensayados	\$3,000
410343	Viguetas Testigos Programados - Curados y NO Ensayados	\$12,950

ALQUILERES Y VENTAS		
Código	ALQUILERES DE EQUIPO DE LABORATORIO	Valor Neto
420102	Alquileres de Viguetas Unidad (día)	\$2,050
420103	Alquiler Camisas 6x12" (día)	\$1,100
420104	Alquiler Camisas 4x8" (día)	\$800
420105	Alquiler Camisas 3x6" (día)	\$800
420120	Alquiler Juego de 6 Modulos 6" x 12" (día)	\$6,450
420121	Alquiler Juego de 6 Modulos 4" x 8" (día)	\$4,450
420123	Alquiler Juego de 8 Modulos 6" x 12" (día)	\$8,700
420124	Alquiler Juego de 8 Modulos 4" x 8" (día)	\$5,850
420125	Alquiler Juego de 8 Modulos 3" x 6" (día)	\$5,850
420146	Alquiler Juego de 7 Modulos 4" x 8" (día)	\$4,450
420147	Alquiler Juego de 9 Modulos 4" x 8" (día)	\$5,850
Código	VENTA DE EQUIPO DE LABORATORIO	Valor Neto
420202	Venta de Camisas de 4" X 8" (Unidad)	\$78,900
420203	Venta de Camisas de 3" X 6" (Unidad)	\$64,800
420204	Venta de Cono Slump	\$95,600
420205	Venta de Varilla Compactadora	\$22,500
420210	Venta de Formaleta para Viguetas (Unidad)	\$226,500
420211	Venta de Espátula	\$22,500
420217	Venta de cuchara	\$22,500
420222	Venta Varilla 3/8 Compactadora Grouting	\$17,400

PRUEBAS PARA PATOLOGIA DE ESTRUCTURAS		
Código	ENSAYOS QUIMICOS	Valor Neto
430301	Profundidad de Carbonatacion	\$135,000

SERVICIOS DE TRANSPORTE

SERVICIOS DE TRANSPORTE		
Código	OTRO	Valor Neto
460201	Transporte Por Viaje	\$29,000

LOS ANTERIORES VALORES NO INCLUYEN IVA.

Vigencia: 31/Dec/16

(*) Ensayos acreditados en la Sucursal Bogotá.

Para mayor detalle sobre los ensayos acreditados en otras sucursales favor remitirse al certificado de acreditación

Observaciones:

1.410301 Ensayo a compresion de cilindros: Si la obra opta por usar camisa de 4"x8" el precio sera de \$3.500 + IVA, pero si la obra decide usar camisas de 6"x12", el precio de la compresion de cilindros será de \$4.500+ IVA

El precio del transporte es unicamnete valido para la ciudad de Bogotá

ANEXO C
COTIZACIÓN Y PRECIOS PRUEBA TENSIÓN



CONSECUTIVO: LABIEM-2827-095-16

SOLICITUD Y CONTRATACIÓN DE SERVICIOS

Información del Usuario

Fecha:	23/11/2016	Nombre:	Raul Andres Reyes Prieto
Institución / Empresa:	BELLO TEJAS		
NIT:	1 0 7 0 9 1 6 5 7 1 - 1	Dirección:	CL 52 48 11 BRR PRADO (Antioquia-Bello)
Teléfono:	2 7 5 4 0 5 5	Celular:	
E-mail:	juan.mesa@estudiantes.uamerica.edu.co		
Fax:			
Tipo Usuario	Externo:	Interno:	
	Persona Natural <input type="checkbox"/>	Docente <input type="checkbox"/>	
	Persona Jurídica <input checked="" type="checkbox"/>	Estudiante <input type="checkbox"/>	
		Administrativo <input type="checkbox"/>	

Información del Servicio

Tipo de análisis solicitado	Tipo de Muestra		Valor unitario	Sub. Total.
	Cantidad	Nombre		
Ensayos Tensión	1	Fibra	\$ 102,200	\$ 102,200
Total				\$ 102,200

El Usuario conoce las condiciones de prestación servicio, del trabajo en el laboratorio y se acoge a ellas. Con la firma de la presente cotización el usuario está de acuerdo con las condiciones de la misma.

Observaciones del Usuario

Observaciones del laboratorio

Los ensayos serán realizados en una Máquina Universal de Ensayos Marca Shimadzu con certificado de calibración No. 4625 expedido por ICCLAB, en el mes de Diciembre del 2015. EN CASO DE REQUERIR FACTURA SOLICITARLA CON ANTELACIÓN ANEXANDO ORDEN DE SERVICIO, COPIA DEL R.U.T. Y CERTIFICADO DE CÁMARA Y COMERCIO, EL PAGO DEBERÁ SER REALIZADO DESPUÉS DE LA FECHA DE EMISIÓN DE LA FACTURA

Se firma en Bogotá, D.C. a los 23 días del mes de Noviembre de 2016.

Usuario: Raul Andres Reyes Prieto

Responsable de la Cotización: Prof. Ricardo Emiro Ramírez

Cargo: Representante Legal

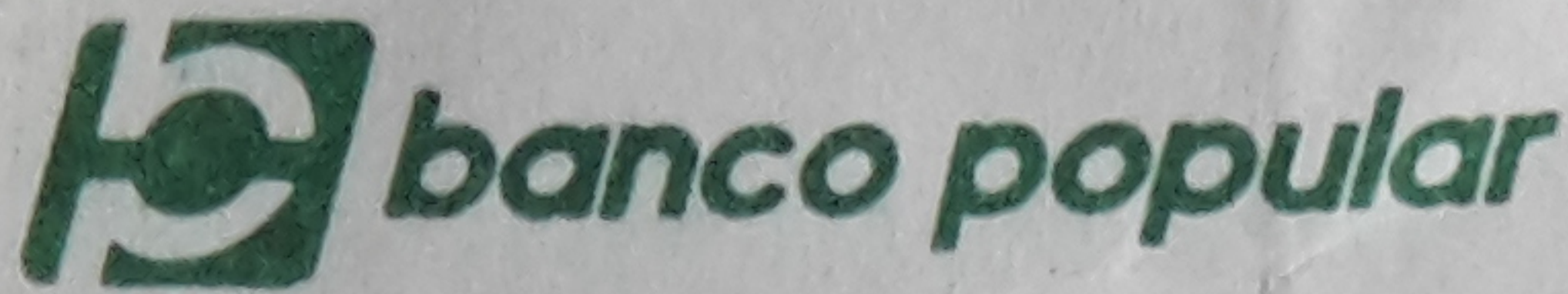
Cargo: Coordinador LABIEM
Laboratorio de Ensayos Mecánico Interfacultades

El pago deberá ser realizado en la siguiente cuenta de ahorros:

Banco Popular –Ciudad Universitaria
Cuenta N°. 01272053-8
Código No. 2004-2827

Fondo Especial Dirección Académica - Universidad Nacional de Colombia
Concepto: Análisis Laboratorio de Ensayos Mecánicos
Vigencia de la cotización (30) días calendario

Nota: Tarifas validas hasta 23 de Diciembre de 2016



COMPROBANTE ÚNICO DE CONSIGNACIÓN

DILIGENCIE UN COMPROBANTE POR CADA OPERACIÓN

No. **1 47830777**

FORMA F-1-10-3-10231 MOD VII-2015

CIUDAD Bogotá	DÍA 24	MES 11	AÑO 2016
----------------------	---------------	---------------	-----------------

LOCAL RECAUDO NACIONAL COMPROBANTE DE PAGO TARJETA DE CRÉDITO

DEPOSITANTE Juan David Mesa	C.C. O CÓDIGO 1016044763
DIRECCIÓN DEL DEPOSITANTE T. 05 963 # 21 A 70	TELÉFONO 301600628

CUENTA CORRIENTE CUENTA DE AHORROS

RELACIÓN DE PAGOS	No. DOCUMENTO (FACTURA)	VALOR
		20042827

NÚMERO DE LA CUENTA 01 217 2 015 3 8
NOMBRE DE LA CUENTA o SOCIO Universidad Nacional
NÚMERO DE LA TARJETA DE CRÉDITO
FORMA DE PAGO EFECT. <input checked="" type="checkbox"/> CANJE <input type="checkbox"/> CTA. CTE <input type="checkbox"/> CHEQ. BANC <input type="checkbox"/>

SI ACEPTA EL PAGO PARCIAL ANOTE AL RESPALDO DEL (LOS) CHEQUE (S)
"ACEPTO PAGO PARCIAL"

NOMBRE DEL BANCO o (No. DE COMPENSACIÓN)	No. CTA DEL CHEQUE	VALOR

EFFECTIVO	102.200
CHEQUES DE LA OFICINA DONDE CONSIGNA	
CHEQUES A CARGO DE OTROS BANCOS LOCALES	
TOTAL CONSIGNACIÓN	102.200

TOTAL DE CHEQUES CONSIGNADOS

INSTRUCCIONES DE DILIGENCIAMIENTO AL RESPALDO

FAVOR ANOTAR EL No. DE SU CTA. CORRIENTE O AHORROS O TARJETA AL REVERSO DE CADA CHEQUE CONSIGNADO

Analisis laboratorio ensayos

ESTE RECIBO NO ES VÁLIDO SIN LA IMPRESIÓN DE LA MÁQUINA REGISTRADORA EN SU DEFECTO SERÁ NECESARIO LA MARCA DEL PROTECTOR FIRMA Y SELLO DEL CAJERO

CLIENTE

Impreso por dispapaper S.A. NIT: 850.028.580-2 88723

ANEXO D

PRECIOS ALQUILER MOLDES CILINDROS Y VIGUETAS CONTECON URBAR

Aunto: *Presentación de Servicios Laboratorio de Ensayos de Materiales* **CONTECON**
URBAR

Servicios Prestados

Ensayos físicos de laboratorio

- Diseño de mezclas
- Pruebas destructivas sobre estructuras de concreto (núcleos)
- Pruebas no destructivas sobre estructuras de concreto
- Ensayos en suelos y pavimentos
- Alquiler y venta de equipos
- Diagnostico y evaluación de estructuras de concreto
- Asesorías técnicas de concreto
- Ensayos de patología del concreto

LISTA DE PRECIOS

ENSAYOS FISICOS DE LABORATORIO		
Código	MATERIALES GRANULARES Y AGREGADOS	Valor Neto
410101	Humedad Natural (NTC 1495-2013)	\$7,000
410102	Masa Unitaria (Suelta y Apisonada)(NTC 92 - 1995)	\$35,000
410103	Densidad y Absorción de la Arena (NTC 237 - 1995)	\$30,000
410104	Densidad y Absorción de la Grava (NTC 176 - 1995)	\$30,000
410105	Material que pasa el tamiz 0.075mm (No.200),(NTC 78-1995)	\$27,450
410106	Contenido de Materia Orgánica por Colorimetría (NTC 127 - 2000)	\$25,000
410107	Contenido de Materia Organica por Ignición (INV E 121-2013)	\$33,000
410108	Desgaste en la Máquina de los Angeles (con trituración)(NTC 93-2013 y 98-2012)	\$95,000
410109	Desgaste en la Máquina de los Angeles (sin trituración)(NTC 93-2013 y 98-2012)	\$85,000
410110	Granulometría con Lavado (sobre Tamiz de 75 µm # 200) (NTC 77 - 2007 y NTC 78 -1995)	\$35,000
410111	Análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos (NTC 77-2007)	\$30,000
410113	Resistencia a los Sulfatos (solidez, 5 ciclos) (NTC 126-1995)	\$100,000
410114	Equivalente de Arena (INV E-133-2013)	\$55,000
410115	Índice de Partículas Planas y Alargadas (INV E-230-2013)	\$40,000
410116	Porcentaje de Caras Fracturadas (una cara fracturada)(INV E 227-2013)	\$35,000
410117	Terrones de Arcilla y Part. Deleznales	\$35,000
410119	Valor de Azul de Metileno en Agregados Finos y en Llenantes Minerales	\$125,000
410120	Lavado sobre Tamiz No. 200	\$25,000
410121	Resistencia al Desgaste en la Máquina Micro Deval	\$125,000
410128	Porcentaje de Caras Fracturadas (dos o más caras fracturadas)(INV E 227-2013)	\$40,000
410132	Desgaste en la Máquina de los Ángeles (inmersión 48 horas)	\$130,750
Código	DISEÑOS DE MEZCLA	Valor Neto
410201	Diseño de Mezcla de Concreto con Dos Agregados (Sin Caracterización)	\$370,000
410202	Diseño de Mezcla Adicional	\$185,000
410203	Diseño de Morteros (Sin Caracterización)	\$320,000
Código	CONTROL DE MEZCLAS	Valor Neto
410301	Ensayo a Compresión de Cilindros (NTC 673-2010/NTC 3546-2003)	\$6,000
410302	Módulo de Rotura Sobre Viguetas (NTC 2871-2004)	\$23,000
410313	Ensayo a compresión de Testigos	\$6,000
Código	ENSAYOS DE MAMPOSTERIA	Valor Neto
410401	Compresión de Bloques Huecos Unidad (NTC 4017-2005/4024-2001)	\$22,000
410402	Absorción de Bloques Huecos Unidad (NTC 4017-2005/4024-2001)	\$22,000
410403	Compresión de Muretes Unidad (NTC 3495-2003)	\$32,000

ENSAYOS FISICOS DE LABORATORIO		
410405	Módulo de Rotura Sobre Adoquines de Arcilla (Unidad)(NTC 4017-2005)	\$25,000
ALQUILERES Y VENTAS		
Código	ALQUILERES DE EQUIPO DE LABORATORIO	Valor Neto
420102	Alquileres de Viguetas Unidad (día)	\$1,800
420120	Alquiler Juego de 6 Modulos 6" x 12" (día)	\$4,800
420123	Alquiler Juego de 8 Modulos 6" x 12" (día)	\$6,000
420146	Alquiler Juego de 7 Modulos 4" x 8" (día)	\$4,200
420147	Alquiler Juego de 9 Modulos 4" x 8" (día)	\$4,950
Código	VENTA DE EQUIPO DE LABORATORIO	Valor Neto
420201	Venta de Camisas de 6" X 12" (Unidad)	\$97,500
420202	Venta de Camisas de 4" X 8" (Unidad)	\$70,100
420204	Venta de Cono Slump	\$84,600
420205	Venta de Varilla Compactadora	\$19,900
420217	Venta de Cuchara	\$19,900
420222	Venta Varilla 3/8 Compactadora Grouting	\$15,200
PRUEBAS PARA PATOLOGIA DE ESTRUCTURAS		
Código	ENSAYOS DESTRUCTIVOS	Valor Neto
430131	Extracción, Corte y Ensayo de Núcleos de 3" (NTC 3658 - NTC 673-2010)	\$185,500
430135	Extracción, Corte y Ensayo de Núcleos de 4" (NTC 3658 - NTC 673-2010)	\$199,500
Código	ENSAYOS FISICOS Y MECANICOS	Valor Neto
430201	Esclerómetro (De 2 hasta 5 Lecturas c/u)(NTC 3692-1995)	\$60,000
430248	Esclerómetro Elemento adicional (Después de 6 lecturas c/u)(NTC 3692-1995)	\$51,500
430255	Esclerómetro (Mínimo 10 lecturas)(NTC 3692-1995)	\$42,500
SUELOS Y PAVIMENTOS		
Código	ENSAYOS FÍSICOS DE MATERIALES GRANULARES	Valor Neto
440101	Compactación (Proctor Modificado) (INV E-142-2013)	\$70,000
440102	Densidades de Terreno Densímetro (De 4 hasta 10 en cada visita c/u)(INV E-164-2013)	\$27,000
440103	Limites de Atterberg (NTC 4630-1999)	\$31,000
440104	C.B.R Material Granular M. I (Incluye Proctor)(INV E 148-2013)	\$170,000
440119	Densidades de Terreno Densímetro (De 1 hasta 3 en cada visita c/u)(INV E-164-2013)	\$32,000
440120	Densidades de Terreno Densímetro (Más de 10 en cada visita c/u)(INV E-164-2013)	\$22,000
ENSAYOS SOBRE PRODUCTOS METÁLICOS		
Código	VARILLAS Y MALLAS	Valor Neto
450102	Tensión de Acero (menor o igual a 1/2")(NTC 2289-2012)(NTC 3353-2013)	\$84,000
450105	Doblamiento (menor o igual a 1/2")(NTC 2289-2012)	\$94,000
450106	Doblamiento (mayor a 1/2")(NTC 2289-2012)	\$94,000

450107	Tracción en Mallas	\$154,000
450108	Esfuerzo Cortante en Mallas	\$105,000
450110	Características Físicas en Aceros	\$60,000
450117	Tensión de Acero (mayor o igual a 7/8")(NTC 2289-2012)	\$100,000
450118	Tensión de Acero (entre 5/8" a 3/4")(NTC 2289-2012)	\$100,000
SERVICIOS DE TRANSPORTE		
Código	URBANO	Valor Neto
460102	Transporte por viaje de densidades	\$150,000
460103	Transporte por Recoger Material	\$135,000

LOS ANTERIORES VALORES NO INCLUYEN IVA.

Vigencia:31/Dic/15

(*) Ensayos acreditados en la Sucursal Bogotá.

Para mayor detalle sobre los ensayos acreditados en otras sucursales favor remitirse al certificado de acreditación

Observaciones:

Orden de servicios Número: 4916-14

CLIENTE

(Las facturas relacionadas con motivo de esta Orden de Compra se expedirán con la información contenida en esta sección)

RAZON O DENOMINACIÓN SOCIAL:

PERSONA CONTACTO:

TELÉFONO: DIRECCIÓN: FAX:

SERVICIOS CONTRATADOS POR EL CLIENTE

Control de Calidad de Materiales

Vigencia de la oferta: Esta propuesta tendrá vigencia hasta el 31 de diciembre de 2015

NOMBRE Y LUGAR DE PRESTACION DE LOS SERVICIOS

Los Servicios se prestarán en Obra ubicada en:

PRECIO Y FORMA DE PAGO

Como contraprestación por los Servicios, el Cliente se obliga a pagar la suma correspondiente a los Servicios prestados teniendo en cuenta la lista de precios vigente que se adjunta a esta Orden de Servicio, más la cantidad que corresponda por concepto de IVA. Nuestra firma facturará cada 30 días, dando un plazo máximo para el pago de 15 días contados a partir de la fecha de radicación de la misma.

CONDICIONES DE LA ORDEN

1. Condiciones de pago: En caso que el Cliente incumpla cualquiera de sus obligaciones de pago, determinadas de conformidad con los términos, condiciones y plazos de la presente Orden de Servicios, LCU podrá, sin incurrir en responsabilidad, suspender, de manera inmediata, el cumplimiento de las obligaciones a su cargo, que se encuentren vigentes en ese momento. **2. Obligaciones del Cliente:** Además de las que la ley estipule y las que se deriven de las cláusulas de esta Orden de Servicio, serán obligaciones del Cliente: a) mantener el sitio donde se deben prestar los Servicios en condiciones adecuadas; b) notificar oportunamente a LCU, con una antelación mínima de 24 horas, la cancelación de un servicio ya solicitado; c) permitir a los representantes y empleados de LCU el acceso al sitio donde se deben prestar los Servicios; d) pagar el precio de los Servicios solicitados en los términos establecidos en esta Orden de Servicios; e) Facilitar el trabajo de LCU en la obra, permitiendo que se desarrollen los Servicios solicitados; y f) Informar con un término prudencial a LCU para que este programe las visitas y pueda prestar adecuadamente los Servicios solicitados. **3. Garantía:** LCU garantiza al Cliente que los Servicios serán prestados en forma profesional y correcta por personal calificado. Si no se prestan de conformidad con la garantía, y el Cliente notifica a LCU la inconformidad dentro de los treinta (30) días siguientes a la prestación de los Servicios, LCU, a su discreción, podrá volver a ejecutar los Servicios o rembolsar al Cliente una parte proporcional de lo que hubiese pagado por los Servicios no ejecutados de conformidad con la garantía. Este será el único y exclusivo recurso del Cliente y reemplazará cualesquiera otros derechos o recursos que el Cliente pueda tener en contra de LCU. **4. Limitación de Responsabilidad:** Las partes, y sus administradores, solamente responderán por daños directos. La responsabilidad de las partes, independientemente de la forma de acción que se ejercite y de los hechos en que se base, se limita al pago de una cantidad que no excederá de manera individual o agregada al equivalente al cien por ciento (100%) del valor de los servicios relacionados con el perjuicio o del Precio de la Orden de Servicio, según sea el caso. La limitación de responsabilidad no será aplicable, únicamente, cuando la conducta que cause el daño sea dolosa. **5. Independencia Laboral:** Las partes entienden y aceptan que la presente Orden de Servicio es de prestación de servicios, y que por lo tanto no genera entre ellas ni entre sus empleados ninguna relación de carácter laboral, ni de ninguna otra índole diferente a la de prestación de servicios. Cada una de las partes será la única responsable por las obligaciones laborales de sus propios empleados. **6. Fuerza Mayor:** La parte que incumpla alguna de sus obligaciones por motivos de fuerza mayor o caso fortuito será exonerada de responsabilidad. **7. Confidencialidad:** Toda la información que LCU entregue al cliente, incluyendo esta Orden de Servicios tendrá el carácter de información confidencial y por lo tanto el cliente tiene la obligación de mantener esta información confidencial en reserva lo cual implica la no divulgación a terceros sin el consentimiento previo expreso y por escrito de LCU. En caso de incumplimiento el cliente deberá

resarcir los perjuicios a LCU. **8. Subcontratación:** LCU tiene el derecho de contratación a terceros con el fin de la prestación de los servicios, de cualquier manera y en todo caso mantendrá la responsabilidad de los servicios. **9. Leyes Aplicables:** Para la interpretación, ejecución y cumplimiento de esta Orden de Servicio, las partes se someten a las leyes aplicables de la República de Colombia. **10. Resultados de ensayo:** El Cliente autoriza a LCU para que le reporte y/o envíe resultados de ensayo por vía telefónica, fax u otros medios electrónicos o electromagnéticos que considere convenientes.

El Cliente declara haber leído y estar de acuerdo en obligarse de conformidad con los términos y condiciones de esta Orden de Servicios. Para constancia, se firma en la ciudad de Cali, a los 28 días del mes de Noviembre 2014.

Cliente

Firma:

_____ **Nombre**

Persona

Autorizada:

_____ **Cargo:**

*Propiedad de Laboratorios Contecon Urbar S.A.S. /
Confidencial*

Laboratorios Contecon Urbar S.A.S

F



ANEXO E
CARTA AUTORIZACIÓN INGRESO USTA

Bogotá D.C.,

Señores
Vigilancia
COLVISEG
UNIVERSIDAD SANTO TOMAS

Asunto: Solicitud ingreso de muestras para falla.

Respetados señores,

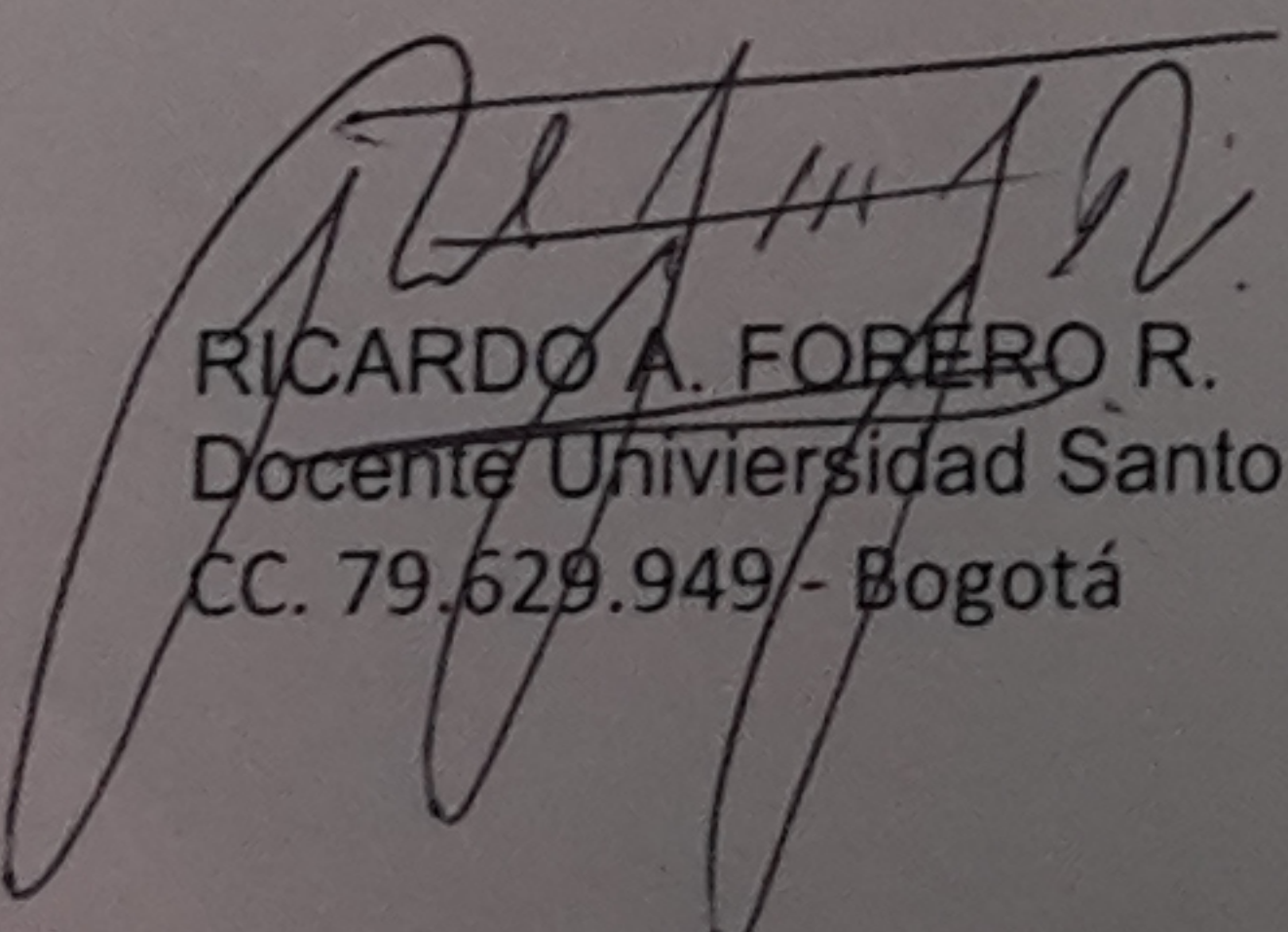
Por medio de la presente solicito me sea autorizado el ingreso de los siguientes elementos con destino al laboratorio de la Universidad:

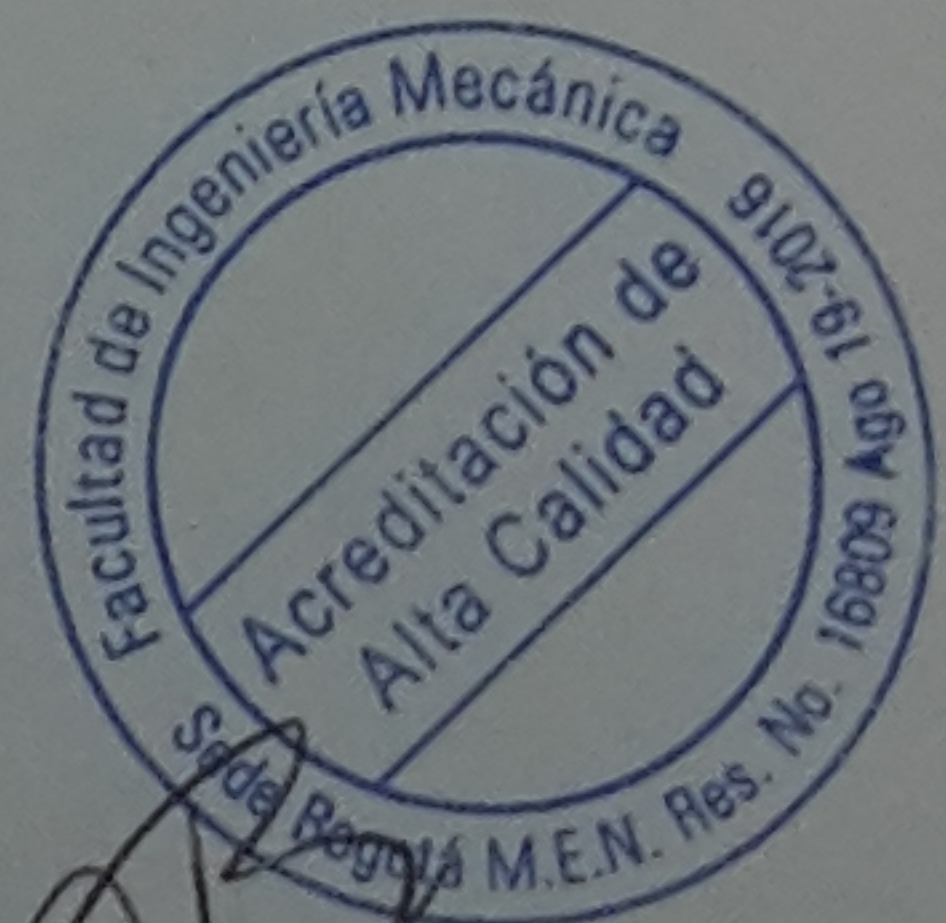
- 12 muestras de cilindros en concreto de dimensiones: 300mm x 150mm
- 8 muestras de viguetas en concreto de dimensiones: 520mm x 150mm x 150mm

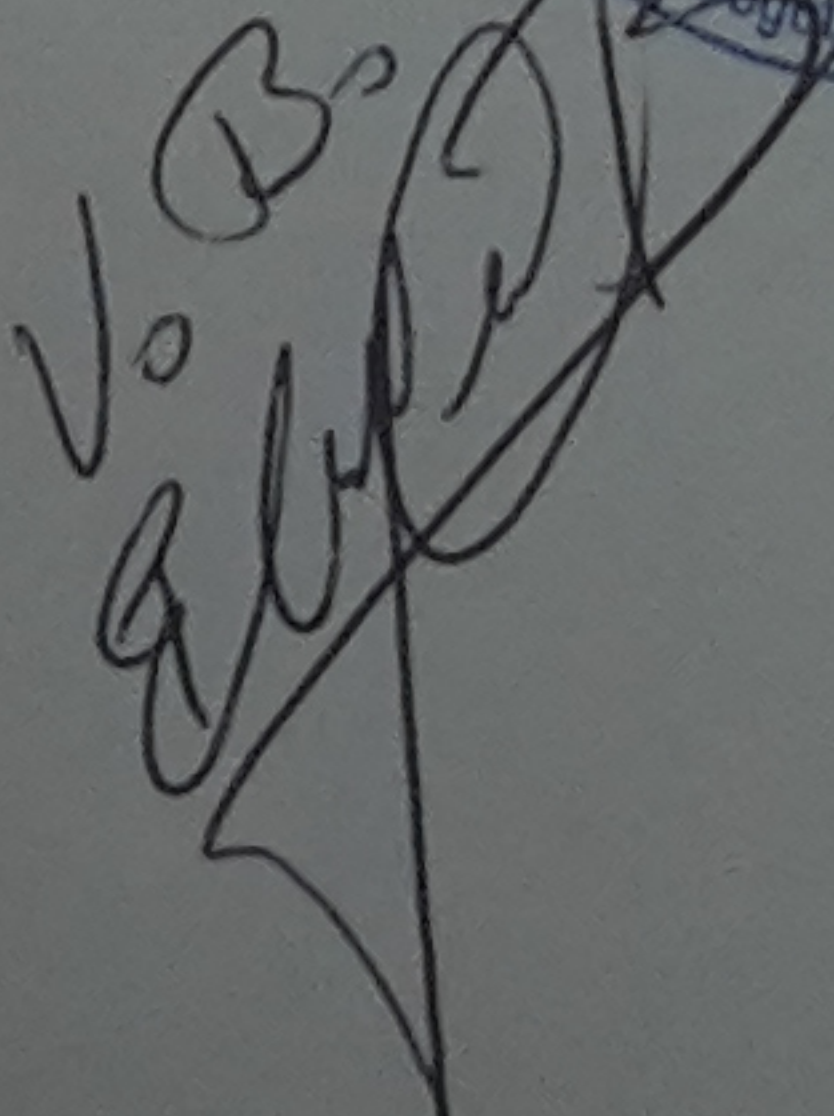
Estos elementos serán sometidos a falla mañana 10 de noviembre de 2016 con el apoyo y vigilancia del personal del laboratorio.

Agradezco su atención prestada.

Cordialmente,


RICARDO A. FORERO R.
Docente Universidad Santo Tomas
CC. 79.629.949 - Bogotá



Vo B.


ANEXO F

COTIZACIÓN MALLA 15X15 DE 4mm

Area Clientes Pedidos

Usuario:

Nuevo cliente? / Registrar
Olvidó su Contraseña ?

ENTRAR

Mis Productos

0 productos | \$0

+ Hacer Pedido / Cotización

5 GÜENOS EN:  [almacenescaima](#)

BUSCAR:



[Inicio](#) [Institucional](#) [Productos](#) [Servicios](#) [Medios de Pago](#) [Convenios](#) [Marcas](#) [Noticias y Eventos](#) [Mapa del Sitio](#) [Contáctenos](#)

Categorías

- [Cementos](#)
- [Ladrillos](#)
- [Pisos en Gres](#)
- [Enchapes en Gres](#)
- [Decorativos en Gres](#)
- [Tubos y Accesorios de Gres](#)
- [Tejas](#)
- [Hierros](#)
- [Triturado, arena de río y peña](#)
- [Dry wall](#)
- [Tubos y Accesorios de PVC](#)
- [Pinturas](#)
- [Estucos y Yesos](#)
- [Granitos y gravillas](#)
- [Morteros Listos y aditivos](#)
- [Lavaplatos y mezcladores](#)
- [Llaves y griferías](#)
- [Artículos eléctricos](#)
- [Rejillas y Válvulas](#)
- [Herramientas](#)
- [Varios ferretería](#)
- [Impermeabilizantes](#)
- [Tanques Plásticos](#)
- [Pisos Cerámicos](#)
- [Porcelana Sanitaria](#)
- [Prefabricados](#)
- [Maderas](#)
- [Limpieza](#)
- [Enchapes en piedra](#)
- [Pozos septicos](#)
- [Dilataciones, piraguas, pirlanes y esquineros](#)
- [Minerales](#)
- [Niples galvanizados](#)
- [Telas asfálticas](#)
- [Productos varios](#)

Hierros

[inicio](#) / [productos](#) / [Hierros](#)

[Volver](#)

Malla Electrosoldada 15*15 de 4mm



Descripción Detallada

PANELES NORMA INCONTE 2310NTC1925

Código : 060507

Unidad de Medida : mt

Medida : 2.35*6mt

Peso en Kilogramos: 18.72

Rendimiento : 14mt

Marca : Diaco



Ficha

tecnica: www.gerdau.com.co/PRODUCTOSYSERVICIOS/Productos/LineasProductos/Ma

Estructura de acero planas en forma de panel.formada por barras de acero corrugado dispuesto en forma octagonal y electrosoldadas en todos los puntos de encuentro. Aplica condiciones y restricciones.

precio: **\$48.500** (Iva incluido)
Exento de Iva : No

Cant.

 **Agregar al Carrito**

ANEXO G
INFORME PRUEBA TENSIÓN

LABORATORIO INTERFACULTADES DE ENSAYOS MECÁNICOS
INFORME DE ENSAYO

E095-16

**DATOS DEL
USUARIO**

Nombre Empresa BELLO TEJAS
Dirigido a: JUAN DAVID MESA GIRALDO
Tipo de usuario Externo
NIT. Empresa 1 0 7 0 9 1 6 5 7 1 - 1
Dirección CL 52 48 11 BRR PRADO (Antioquia-Bello)
Correo-e juan.mesa@estudiantes.uamerica.edu.co.
Tel. 2 7 5 4 0 5 5
Cotización No. LABIEM-2827-095-16

Descripción:

El Ensayo de Tensión realizado sobre muestras de Fibra de “PET recuperado con Polipropileno”, según lo establecido por el usuario, se realizó de acuerdo al procedimiento sugerido en el numeral 9 de la Norma ASTM C1557-14. El ensayo fue desarrollado el día 24 de Noviembre del 2016.

Observaciones:

Las condiciones atmosféricas en el momento de realizar el ensayo fueron: Humedad Relativa 16 % y Temperatura 72,6°C. Para la realización de las pruebas se implementó una celda de carga de 1KN. La velocidad del ensayo fue de de 20mm/min.

NOTA

El ensayo se realizó en una Máquina Universal de Ensayos marca Shimadzu® 50kN, con certificado de calibración No. 4625 expedido por el laboratorio de calibración ICCLAB, en el mes de Diciembre del 2015.

Las dimensiones del área de las probetas se determinaron mediante el uso de un estereomicroscopio Marca Nikon, modelo: SMZ800, a 63 aumentos.

RESULTADOS

En la siguiente tabla se muestra los resultados obtenidos al finalizar el ensayo.

LABORATORIO INTERFACULTADES DE ENSAYOS MECÁNICOS
INFORME DE ENSAYO

Muestra	Fuerza Máx.(N)	Desplazamiento a Fuerza Máx. (mm)	Esfuerzo a Fuerza Máx. (MPa)	Deformación a Fuerza Máx. (%)
FP - 1	124.9	63.51	189.21	43.20
FP - 2	83.1	12.57	125.95	8.55
FP - 3	100.5	26.17	152.23	17.80
FP - 4	142.5	89.55	215.86	60.92
FP - 5	115.9	45.82	175.66	31.17
Promedio	113.4	47.52	171.78	32.33
Desviación Estándar	22.7	30.42	34.44	20.70

Tabla 1. Resultados del Ensayo.

En las siguientes fotografías se muestra una de las probetas, así como la instalación y comportamiento al finalizar el Ensayo.

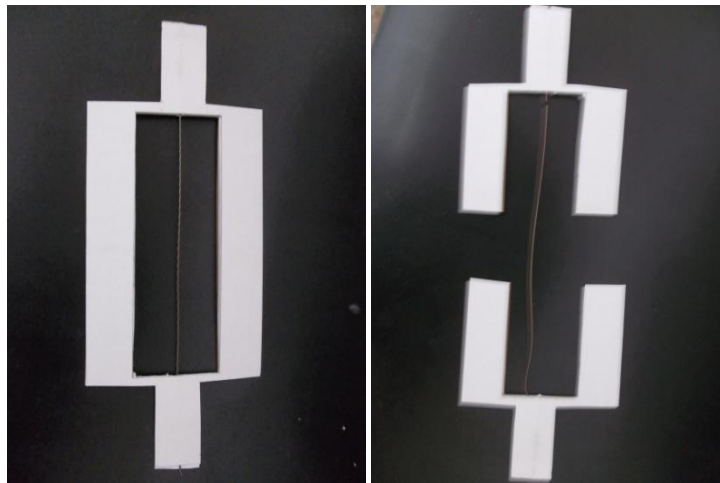


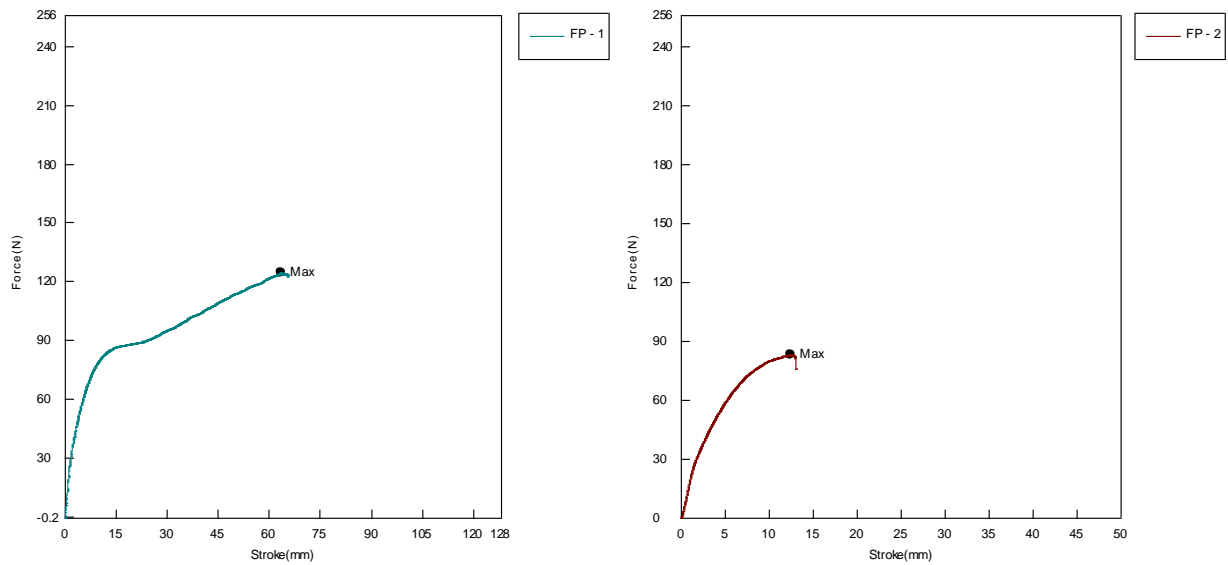
Figura 1. Fotografía de la izquierda: Probeta en el momento previo al ensayo. Fotografía de la derecha: Probeta ensayada.

LABORATORIO INTERFACULTADES DE ENSAYOS MECÁNICOS INFORME DE ENSAYO



Figura 2. Fotografía de la izquierda: Instalación de la Probeta. Fotografía de la derecha: Probeta ensayada.

En las siguientes gráficas se muestra el comportamiento del material en función del desplazamiento del cabezal:



LABORATORIO INTERFACULTADES DE ENSAYOS MECÁNICOS
INFORME DE ENSAYO

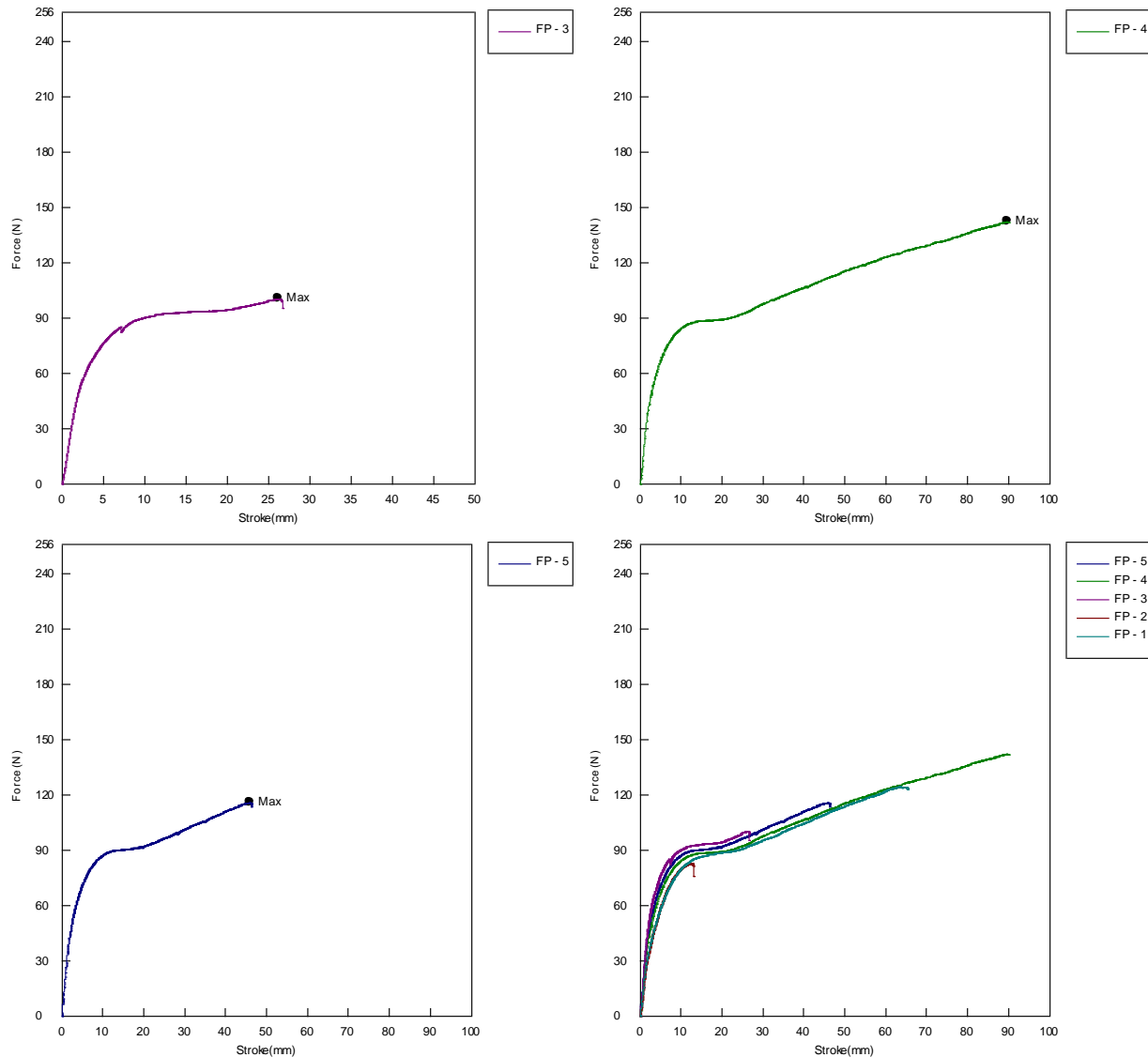



Figura 5. Curvas Fuerza - Desplazamiento, generadas al finalizar el ensayo.

Original Firmada por:

Ing. César Augusto Bacca González
(Profesional de Apoyo LABIEM)

Ing. Ricardo Emiro Ramírez Heredia
(Coordinador LABIEM)

 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016


AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL LUMIERES

Yo **JUAN DAVID MESA GIRALDO** en calidad de titular de la obra **CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LA FIBRA POLIMÉRICA PARA REFORZAR CONCRETO "POLIFIBRA" DE POLYALTEC LTDA**, elaborada en el año 2016, autorizo al **Sistema de Bibliotecas de la Fundación Universidad América** para que incluya una copia, indexe y divulgue en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres, la obra mencionada con el fin de facilitar los procesos de visibilidad e impacto de la misma, conforme a los derechos patrimoniales que me corresponde y que incluyen: la reproducción, comunicación pública, distribución al público, transformación, en conformidad con la normatividad vigente sobre derechos de autor y derechos conexos (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, entre otras).

Al respecto como Autor manifestamos conocer que:

- La autorización es de carácter no exclusiva y limitada, esto implica que la licencia tiene una vigencia, que no es perpetua y que el autor puede publicar o difundir su obra en cualquier otro medio, así como llevar a cabo cualquier tipo de acción sobre el documento.
- La autorización tendrá una vigencia de cinco años a partir del momento de la inclusión de la obra en el repositorio, prorrogable indefinidamente por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales del autor y podrá darse por terminada una vez el autor lo manifieste por escrito a la institución, con la salvedad de que la obra es difundida globalmente y cosechada por diferentes buscadores y/o repositorios en Internet, lo que no garantiza que la obra pueda ser retirada de manera inmediata de otros sistemas de información en los que se haya indexado, diferentes al Repositorio Digital Institucional – Lumieres de la Fundación Universidad América.
- La autorización de publicación comprende el formato original de la obra y todos los demás que se requiera, para su publicación en el repositorio. Igualmente, la autorización permite a la institución el cambio de soporte de la obra con fines de preservación (impreso, electrónico, digital, Internet, intranet, o cualquier otro formato conocido o por conocer).
- La autorización es gratuita y se renuncia a recibir cualquier remuneración por los usos de la obra, de acuerdo con la licencia establecida en esta autorización.
- Al firmar esta autorización, se manifiesta que la obra es original y no existe en ella ninguna violación a los derechos de autor de terceros. En caso de que el trabajo haya sido financiado por terceros, el o los autores asumen la responsabilidad del cumplimiento de los acuerdos establecidos sobre los derechos patrimoniales de la obra.
- Frente a cualquier reclamación por terceros, el o los autores serán los responsables. En ningún caso la responsabilidad será asumida por la Fundación Universidad de América.
- Con la autorización, la Universidad puede difundir la obra en índices, buscadores y otros sistemas de información que favorezcan su visibilidad.

Conforme a las condiciones anteriormente expuestas, como autor establezco las siguientes condiciones de uso de mi obra de acuerdo con la **licencia Creative Commons** que se señala a continuación:

 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016



Atribución- no comercial- sin derivar: permite distribuir, sin fines comerciales, sin obras derivadas, con reconocimiento del autor.



Atribución – no comercial: permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor.



Atribución – no comercial – compartir igual: permite distribuir, modificar, crear obras derivadas, sin fines económicos, siempre y cuando las obras derivadas estén licenciadas de la misma forma.

Licencias completas: http://co.creativecommons.org/?page_id=13

Siempre y cuando se haga alusión de alguna parte o nota del trabajo, se debe tener en cuenta la correspondiente citación bibliográfica para darle crédito al trabajo y a su(s) autor(es).

De igual forma como autor autorizo la consulta de los medios físicos del presente trabajo de grado así:

AUTORIZO (AUTORIZAMOS)	SI	NO
La consulta física (sólo en las instalaciones de la Biblioteca) del CD-ROM y/o Impreso	X	
La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer para efectos de preservación	X	

Información Confidencial: este Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica o secreta o se ha pedido su confidencialidad por parte del tercero, sobre quien se desarrolló la investigación. En caso afirmativo expresamente indicaré, en carta adjunta, tal situación con el fin de que se respete la restricción de acceso.	SI	NO
		X

Para constancia se firma el presente documento en Bogotá D.C, a los 16 días del mes de marzo del año 2017.

EL AUTOR:

Autor

Nombres	Apellidos
JUAN DAVID	MESA GIRALDO
Documento de identificación No	Firma
1.016.011.163	