

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL



“Estudio comparativo entre un hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido”

Postulantes:

Cruz Quispe Grover

Ibañez Laura Laura Isabel

Tutor:

Ing. Fernando Cerruto Anibarro

La Paz – Bolivia

2022



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERIA**



LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.

LICENCIA DE USO

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme la fuerza para crecer profesionalmente, y darme consuelo en tiempos difíciles. A mi familia que siempre confió en mí, con gran amor y sacrificio han sido parte de este logro académico.

A mi tutor, Ing. Fernando Cerruto Anibarro por su guía y conocimientos brindados durante el desarrollo del proyecto. A los técnicos Nicolas Condori y Richar Elías del Instituto de ensayo de materiales por su colaboración y apoyo sin el que hubiese sido difícil la realización de los ensayos de laboratorio.

A Laura Ibañez, compañera y coautor de este proyecto.

A la carrera de ingeniería civil de la facultad de ingeniería de la UMSA, a la que pertenezco, gracias por sembrar en mí las competencias para desempeñar esta profesión.

Finalmente, a mis amigos y compañeros de carrera, que se convirtieron en mi segunda familia a lo largo de esta travesía entre practicas exámenes y proyectos.

Cruz Quispe Grover

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar un sincero agradecimiento a todas aquellas personas que han sido parte de mi vida y que sin ellas no hubiera sido posible la elaboración de este proyecto.

Agradezco a mi asesor Ing. Fernando Cerruto Anibarro quién me brindó todos sus conocimientos y apoyo, tanto como cuando fui auxiliar de docencia de la Materia Tecnología del hormigón de la carrera de Ingeniería Civil, como cuando desarrollé mi proyecto de grado.

Agradezco de igual manera, a todos los técnicos del Instituto de Ensayo de Materiales, especialmente a los técnicos Nicolas Condori y Richar Elías del área de hormigones, que sin su colaboración y afecto no hubiéramos concluido los ensayos de laboratorio.

A Grover Cruz Quispe, compañero y coautor de este proyecto.

Agradezco a la carrera de Ingeniería civil de la facultad de Ingeniería de la U.M.S.A de la cual me siento muy orgullosa de pertenecer.

A mis hermanas Katy y Andrea Ibañez que siempre me apoyaron y compartieron todo su entusiasmo conmigo.

Finalmente, y no menos importante, agradezco infinitamente a mis padres Viviana Laura y Teófilo Ibañez, si no fuera por ellos, por su aliento e impulso de superación no me encontraría en este momento realizando el sueño de ser profesional, me han dado la vida y ahora las alas para emprender el vuelo.

Ibañez Laura Laura Isabel

DEDICATORIA:

A mis padres,
Este logro es fruto de su apoyo.

Cruz Quispe Grover.

DEDICATORIA:

Quiero dedicarle este trabajo a Dios que me ha dado la vida y fortaleza para terminar este proyecto de investigación. A mis padres pilares fundamentales en mi vida, que gracias a su empeño y paciencia me han formado como persona. A mis hermanas y amigos que me brindaron su apoyo incondicional y estuvieron a mi lado en los momentos más difíciles

Ibañez Laura Laura Isabel

RESUMEN

El presente proyecto parte de la necesidad de buscar una alternativa a los millones de envases de plástico que se usan y se desechan cada día para el consumo de bebidas, se pretende reutilizar este material para la elaboración de fibras PET que posteriormente serán incorporadas al hormigón convencional, y así reducir el impacto que se genera al ambiente como también mejorar las propiedades físicas y mecánicas del hormigón. Para la producción de fibras se reciclaron botellas PET, cortando filamentos a través de una herramienta prototipo, con anchos de 1, 2 y 3 mm con una longitud de 50 mm, se trabajó con dosificaciones de 5, 10, 15, 20 y 25 kg/m³. Se determinó las dosificaciones óptimas para cada ancho de fibra PET. Para fibras de 1 mm una dosis de 10 kg/m³, para 2 mm una dosis de 11 kg/m³ y para 3 mm una dosis de 11 kg/m³. Se analizaron las propiedades mecánicas para las dosificaciones óptimas mediante la ejecución de ensayos característicos para hormigones fibroreforzados comparándolos con un hormigón convencional. Se ensayaron las muestras de hormigones reforzados con fibras a compresión, flexión, tracción indirecta, fisuración, impacto, ciclos de congelamiento y descongelamiento y un análisis de costos. Determinándose que la mejor opción por sus propiedades y costos de producción son las fibras con un ancho de 3 mm y una dosificación de 11 kg/m³.

SUMMARY

This project is based on the need to find an alternative to the millions of plastic containers that are used and discarded every day for the consumption of beverages; the intention is to reuse this material for the production of PET fibers that will later be incorporated into conventional concrete, thus reducing the impact generated on the environment and improving the physical and mechanical properties of the concrete. For the production of fibers, PET bottles were recycled, cutting filaments through a prototype tool, with widths of 1, 2 and 3 mm with a length of 50 mm, working with dosages of 5, 10, 15, 20 and 25 kg/m³. The optimum dosages were determined for each PET fiber width. For 1 mm fibers a dosage of 10 kg/m³, for 2 mm a dosage of 11 kg/m³ and for 3 mm a dosage of 11 kg/m³. The mechanical properties for the optimum dosages were analyzed by performing characteristic tests for fiber-reinforced concrete compared to conventional concrete. The fiber-reinforced concrete samples were tested in compression, bending, indirect traction, cracking, impact, freeze-thaw cycles and a cost analysis. It was determined that the best option for its properties and production costs are fibers with a width of 3 mm and a dosage of 11 kg/m³.

ÍNDICE

1. Introducción	2
1.1. Justificación	2
1.2. Estado del arte	3
1.3. Objetivos generales y específicos	8
1.3.1 Objetivo General	8
1.3.2 Objetivos Específicos	8
1.4. Metodología	9
2. Marco teórico	11
2.1. Hormigón reforzado con fibras	11
2.1.1 Tipos de fibras	11
a) Fibras de acero	12
b) Fibras de vidrio	12
c) Fibras sintéticas	12
d) Fibras naturales	13
2.1.2 Interacciones Fibra-Matriz	13
a) Influencia de la Longitud de la Fibra	13
b) Influencia de la orientación de fibras	14
2.1.3 Mecánica del Hormigón Reforzado con Fibras	15
a) Aumento en la resistencia al impacto	15
b) Disminución del agrietamiento por contracción plástica	16
c) Durabilidad	17
d) Acción de los ciclos de congelamiento-descongelamiento	18
2.2. Capacidad residual del hormigón reforzado con fibras	19
2.3. Aplicaciones del hormigón reforzado con fibras	20
2.4. Botellas PET	20
2.5. Propiedades de las botellas PET	21
3. Marco práctico	23
3.1. Trabajo de gabinete	23
3.2. Fase previa	23
3.3. Dosificación de hormigón con fibras	23

3.3.1	Determinación de las cantidades de macrofibras	23
3.3.2	Determinación de la longitud y anchos de fibras	24
3.4.	Diseño experimental	24
3.5.	Trabajo en Laboratorio	25
3.5.1	Materiales	25
a)	Cemento	25
b)	Agregados	26
c)	Agua	31
3.5.2	Fibras	32
a)	Recolección de botellas PET.	32
b)	Preparado de las botellas PET	33
c)	Fileteado de las botellas PET	33
3.5.3	Mezclas de prueba	35
3.5.4	Mezcla ajustada	35
3.5.5	Ensayos del hormigón	36
a)	Contenido de aire	36
b)	Asentamiento	37
c)	Fisuración	37
d)	Compresión	39
e)	Flexión en hormigones reforzados con fibras	40
f)	Tracción indirecta	41
g)	Ciclos de congelamiento-descongelamiento	41
h)	Impacto	42
4.	Evaluación de resultados	45
4.1.	Ensayos en hormigón fresco	45
4.1.1	Asentamiento cono de Abrams	45
4.1.2	Peso unitario	46
4.1.3	Contenido de aire	47
4.2.	Ensayos en hormigón endurecido	47
4.2.1	Resistencia a compresión	47
4.2.2	Resistencia a Flexión	49
a)	Incremento de resistencias a flexión	50
b)	Capacidad residual	51
c)	Relación de resistencias a flexión equivalente	52
4.3.	Diseño experimental	52
4.4.	Ensayos para las dosificaciones adoptadas	57
4.5.	Ensayos en hormigón fresco	57

4.5.1 Asentamiento cono de Abrams	57
4.5.2 Peso unitario	58
4.5.3 Contenido de aire	58
4.6. Ensayos en hormigón endurecido	59
4.6.1 Resistencia a compresión	59
a) Resistencia a compresión a 28 días	59
4.6.2 Resistencia a Flexión	60
a) Incremento de resistencias a flexión	60
b) Capacidad residual	61
c) Relación de resistencias a flexión equivalente	61
4.6.3 Tracción indirecta	62
4.6.4 Fisuración	63
a) Ancho de fisuras	63
b) Longitud de fisuras	64
4.6.5 Impacto	65
a) Resistencia al impacto a los 7 días	65
b) Resistencia al impacto a los 28 días	66
4.6.6 Hielo deshielo	66
4.7. Elección de la mejor alternativa	76
5. ANÁLISIS DE COSTOS	74
5.1. Costo de producción de 1m³ de hormigón fibroreforzado	74
5.2. Precios unitarios	75
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
6.1. Conclusiones	79
6.2. Recomendaciones	83
7. BIBLIOGRAFÍA	86
8. ANEXOS	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Curva carga deformación de una viga	19
Figura 3.1 Diseño experimental para fibras PET de 50 mm (Hexágono)	24
Figura 3.2 Almacenamiento de agregados	26
Figura 3.3 Determinación del peso específico de los agregados	27
Figura 3.4 Ensayo de peso unitario	27
Figura 3.5 Ensayo material más fino que el tamiz N°200	28
Figura 3.6 Ensayo de equivalente arena	28
Figura 3.7 Ensayo de impurezas orgánicas	29
Figura 3.8 Ensayo de desgaste de Los Ángeles	29
Figura 3.9 Curva granulométrica	31
Figura 3.10 Etapa de recolección y lavado de botellas PET	32
Figura 3.11 Preparación de envases PET	33
Figura 3.12 Herramienta de corte para botellas PET	33
Figura 3.13 Fileteado de hilos a partir de botellas PET	34
Figura 3.14 Fibras PET de 1 mm, 2 mm y 3 mm de ancho recortadas a una longitud de 5 cm.....	34
Figura 3.15 Ensayo Normalizado Contenido de Aire (Gravimétrico) del Concreto	37
Figura 3.16 Ensayo de asentamiento	37
Figura 3.17 Método de ensayo de fisuración del hormigón	38
Figura 3.18 Equipo para la lectura de longitud y espesor de fisuras	39
Figura 3.19 Ensayo de compresión	40
Figura 3.20 Ensayo a flexión para hormigones con fibras	40
Figura 3.21 Ensayo de tracción indirecta	41
Figura 3.22 Ensayo de ciclos de congelamiento descongelamiento	42
Figura 3.23 Ensayo de impacto	42
Figura 4.1 Resultados de asentamientos obtenidos para cada dosificación	46
Figura 4.2 Esquema de pesos unitarios por dosificación	46
Figura 4.3 Esquema de contenidos de aire por dosificación	47
Figura 4.4 Resistencias medias a compresión a 28 días.....	49
Figura 4.5 Resistencias a flexión a 28 días	51
Figura 4.6 Capacidad residual a 28 días	51
Figura 4.7 Relación de resistencias a Flexión equivalente a 28 días	52
Figura 4.8 Esquema del Relación de Resistencia a la Flexión Equivalente [%].....	53

Figura 4.9 Relación de resistencias a flexión vs cantidad de fibras	55
Figura 4.10 Dosificación para cada ancho de fibras correspondiente a un 30% de relación de resistencias a flexión.....	56
Figura 4.11 Resultados de asentamientos obtenidos para cada dosificación.....	57
Figura 4.12 Pesos unitarios por dosificación	58
Figura 4.13 Esquema de contenidos de aire por dosificación	58
Figura 4.14 Resistencias a compresión a 28 días.....	59
Figura 4.15 Resistencias a Flexión a 28 días.....	60
Figura 4.16 Capacidad residual a los 28 días	61
Figura 4.17 Relación de resistencias a flexión equivalente.	62
Figura 4.18 Tracción Indirecta a la edad de 28 días	63
Figura 4.19 Reducción de longitudes de fisura	64
Figura 4.20 ensayo de impactos a los 7 días	65
Figura 4.21 ensayo de impactos a los 28 días	66
Figura 4.22 Comparación de módulos de rotura a flexión de muestras con y sin CCD	67
Figura 4.23 Comparación de capacidad residual a flexión de muestras con y sin CCD	68
Figura 4.24 Calculo del espesor de losa para un hormigón sin fibras	70
Figura 4.25 Cálculo del espesor de losa para un hormigón con fibras de 1 mm	70
Figura 4.26 Cálculo del espesor de losa para un hormigón con fibras de 2 mm	71
Figura 4.27 Cálculo del espesor de losa para un hormigón con fibras de 3 mm	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Propiedades del Tereftalato de polietileno (PET)	21
Tabla 3.1	Puntos del modelo del hexágono	25
Tabla 3.2	Propiedades de los agregados	31
Tabla 3.3	Dosificación de prueba	35
Tabla 3.4	Dosificación final.....	36
Tabla 4.1	Propiedades del Hormigón fresco: Correspondientes al hexágono.....	45
Tabla 4.2	Resistencia media a compresión	48
Tabla 4.3	Resistencias medias a flexión	50
Tabla 4.4	Tabla de valores de la Relación de resistencias a la flexión equivalente	54
Tabla 4.5	Dosificaciones adoptadas	56
Tabla 4.6	Propiedades del Hormigón fresco.....	57
Tabla 4.7	Resistencias medias a compresión	59
Tabla 4.8	Resistencias medias a flexión	60
Tabla 4.9	Tracción Indirecta.....	62
Tabla 4.10	Ensayo de fisuración	63
Tabla 4.11	Ensayo de Impacto.....	65
Tabla 4.12	Ensayo de Flexión ciclos de hielo y deshielo	66
Tabla 4.13	Tabla de decisiones (Matriz de Leopold).....	77
Tabla 5.1	Dosificaciones óptimas encontradas	74
Tabla 5.2	Costo de producción para producir fibras de 1 mm de espesor para 1 m ³ de hormigón.....	74
Tabla 5.3	Costo de producción para producir fibras de 2 mm de espesor para 1 m ³ de hormigón.....	74
Tabla 5.4	Costo de producción para producir fibras de 3 mm de espesor para 1 m ³ de hormigón.....	75
Tabla 5.5	Precios Unitarios para 1 m ³ de hormigón	75

1. INTRODUCCIÓN

Introducción

1.1. Justificación

Los envases de tereftalato de polietileno (PET), constituyen en uno de los productos más usados en el mundo. El 70% o más de botellas PET consumidas a diario, contaminan al medio ambiente o a vertederos y más de 13 millones llegan al mar cada año.

Siendo que en promedio las botellas PET tardan en descomponerse 450 años y que representan un alto contaminante para ríos, mares y suelos. Surge la necesidad de buscar una alternativa a los millones de envases de plástico que se usan y se desechan cada día para el consumo de bebidas, es así que nace la idea de la incorporación de las botellas PET en el hormigón, de esta manera se busca aprovechar al máximo dicho material reutilizando estos envases y transformándolos en fibras mediante un artefacto prototipo, al reutilizar este material se desea reducir el impacto que éste genera al ambiente y también se desea mejorar las propiedades físicas y mecánicas del hormigón en estado fresco y en estado endurecido

Con lo expuesto anteriormente se pretende realizar un estudio comparativo entre un hormigón tradicional y un hormigón reforzado con fibras PET. De igual manera se pretende que este trabajo pueda ser una referencia para futuras investigaciones.

Este proyecto, a diferencia de otros trabajos que estudian la influencia de la adición de fibras PET en el hormigón que ejecutan ensayos de compresión y flexión, implementa la determinación de la capacidad residual con la norma ASTM C1609, el fenómeno de fisuración, la resistencia a impacto y la resistencia a ciclos de congelamiento y descongelamiento.

La importancia de esta investigación radica en que el uso de fibras PET en el hormigón potenciará el desempeño del hormigón ante las circunstancias externas y ante una carga, se determinará el aumento de la resistencia del material frente al agrietamiento y control la abertura de fisuras, que finalmente otorgará mayor vida útil al hormigón.

1.2. Estado del arte

Desde hace muchos años, las fibras se han empleado para reforzar materiales frágiles. En nuestro medio aún se pueden observar casas construidas con adobes reforzados con pajas. En tiempos más recientes, el uso comercial a gran escala de fibras de amianto en una matriz de pasta de cemento comenzó con la invención del proceso Hatschek en 1898. Los productos de construcción de fibrocemento se utilizan ampliamente en todo el mundo de hoy. Sin embargo, principalmente debido a peligros para la salud asociados con las fibras de amianto, se introdujeron tipos de fibra alternativa a lo largo de las décadas de 1960 y 1970.

En los tiempos modernos, una amplia gama de materiales de ingeniería (incluidos productos de cerámica, plásticos, cemento y yeso) incorporan fibras para mejorar las propiedades de los compuestos. Las propiedades mejoradas incluyen resistencia a la tracción, resistencia a la compresión, módulo elástico, resistencia al agrietamiento, control del agrietamiento, durabilidad, resistencia a la fatiga, resistencia al impacto y la abrasión, contracción, expansión, características térmicas y resistencia al fuego.

Ensayos experimentales y patentes que implican el uso de elementos discontinuos de refuerzo de acero, como clavos, alambre segmentos y virutas de metal, para mejorar las propiedades del hormigón datan de 1910. Durante la década de 1960 en los Estados Unidos, se realizó la primera gran investigación para evaluar el potencial de las fibras de acero como refuerzo para el hormigón. Desde entonces, se ha producido una cantidad sustancial de investigación, desarrollo, experimentación y aplicación industrial del hormigón reforzado con fibra de acero.

El uso de fibras de vidrio en el hormigón se intentó por primera vez en la URSS a finales de la década de 1950. Rápidamente se estableció que las fibras de vidrio ordinarias como las fibras de vidrio de borosilicato son atacadas y finalmente destruidas por los álcalis en la pasta de cemento. Se realizó un considerable trabajo de desarrollo para producir una forma de fibras de vidrio resistentes a los álcalis que contengan zirconio. Esto condujo a un número

considerable de productos comerciales. El mayor uso de hormigón reforzado con fibra de vidrio en los Estados Unidos es actualmente para la producción de paneles de revestimiento arquitectónicos en exterior.

Los intentos iniciales de utilizar fibras sintéticas (nylon, polipropileno) no fueron tan exitosos como los que utilizaron fibras de vidrio o acero. Sin embargo, una mejor comprensión de las desventajas detrás del refuerzo de fibras llevo a nuevos métodos de fabricación y nuevos tipos de fibras orgánicas, llevando a los investigadores a concluir que tanto las fibras sintéticas como las naturales pueden tener éxito reforzando completamente al hormigón. (ACI 544.1R 96, 2002)

Con el desarrollo de la tecnología, los polímeros fueron obteniendo mayores prestaciones y ganando mejor posicionamiento en el mercado de la construcción, muchas investigaciones dirigidas a soluciones ambientales fueron dirigidas a la reutilización de plásticos en la elaboración del hormigón, a continuación, se muestran algunas de ellas:

Análisis de las propiedades físico-mecánicas de un hormigón elaborado con fibras recicladas de envases PET, con y sin aditivo plastificante. (Guamán

Ordoñez & Pinenla López, 2019)

Esta investigación parte de una problemática ambiental que existe en el mundo ya que anualmente se genera gran cantidad de desechos. Uno de estos son las botellas plásticas las cuales van a ser aprovechadas de mejor manera, dándole una aplicabilidad especialmente a los envases PET, estos al ser incorporados al hormigón convencional como fibra, en un porcentaje óptimo de 0,5% establecido mediante diferentes mezclas de pruebas en función del volumen. Se analizan sus propiedades físico mecánicas realizando diferentes diseños de mezclas: hormigón sin fibras, hormigón con fibras rectangulares y hormigón con fibras rectangulares más un aditivo plastificante. La forma de obtener las fibras de los envases reciclados PET se hace mediante una máquina prototipo generando

fibras cuya geometría es de 120 mm de largo, 30 mm de ancho y el espesor es constante. Con los resultados obtenidos en los estudios se analizan las propiedades físicas. En estado fresco, al incluir las fibras PET en la mezcla de hormigón se observó; que la consistencia se volvió semi-seca con un asentamiento medido de 40 mm, reduciendo notablemente su trabajabilidad, aunque sus propiedades como homogeneidad y cohesión se mantuvieron. A diferencia de la que no contiene fibras PET presentó una consistencia plástica con un asentamiento medido de 80 mm, una trabajabilidad, homogeneidad y cohesión buenas, que va a permitir un manejo y colocación adecuado de la mezcla en obra. En estado endurecido, de las tres mezclas la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad disminuyen en comparación al hormigón convencional; en cuanto a la resistencia a la tracción indirecta, el módulo de rotura a flexión y la resistencia a la adherencia el hormigón con fibras aumenta en un porcentaje cercano al 5%. Con esto se determina el comportamiento de este tipo de fibra ante las solicitaciones de servicio.

Hormigón fibro-reforzado. Fibras obtenidas de envases post-consumo vs fibras sintéticas comerciales. estudio preliminar. (Sanabria Chioino, 2016)

Este trabajo consiste en el desarrollo de una investigación de la evaluación del desempeño de un nuevo material compuesto elaborado con hormigón reforzado con fibras obtenidas de residuos post-consumo (PET), se produjeron fibras de 4 mm por 50 mm de largo producidas en tres etapas: corte manual - corte mecanizado - corte manual. Se utilizó como sistema mecánico una destructora de documentos. Sin embargo este método no es el idóneo ya que demanda mucho tiempo, la destructora de documentos es costosa y con poca vida útil.

A través de la revisión del estado del arte, el análisis normativo y la realización de ensayos mecánicos realizados en el Laboratorio del IC, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la UDELAR. Dicha evaluación se ha realizado a través de la comparación de

las características resistentes de este material con hormigón reforzado con fibras comerciales de polipropileno (SikaFiber® ForcePP48) y hormigón tradicional (sin fibras).

Se obtuvo que el hormigón reforzado con fibras de PET tiene un 20% más de resistencia a tracción que el hormigón sin fibras. Además, posee menor resistencia a los esfuerzos de compresión que el hormigón sin fibras (en promedio un 15% menos) y un 6% menos que el hormigón con fibras de polipropileno.

Análisis de las propiedades físico-mecánicas de un hormigón elaborado con fibras recicladas de envases PET utilizando agregados de la cantera de San Antonio y cemento Holcim tipo GU. (Mestanza Guamancuri, 2018)

La presente investigación tiene como objetivo brindar información técnica sobre la aplicación de fibras obtenidas a partir de envases de PET reciclado sobre hormigón, se analizaron las propiedades mecánicas de las muestras de hormigón en estado fresco endurecido en dos tipos diferentes de combinaciones: hormigón simple y hormigón con fibras recicladas de PET, en diferentes porcentajes (0%, 0,37%, 0,74% y 1,11%) según el volumen de cada combinación. Las fibras PET utilizadas en este proyecto fueron de 7 mm de espesor por 90 mm de longitud, y tenían una forma helicoidal.

Se analizaron las propiedades en estado fresco: consistencia, propiedades físicas, homogeneidad, trabajabilidad y en estado endurecido las propiedades a analizar serán: compresión simple, tracción indirecta, flexión, módulo de elasticidad y adherencia, determinando así el comportamiento de cada tipo de fibra bajo las cargas de servicio.

Se determinó que el asentamiento de las mezclas disminuye en su valor a medida que aumenta el porcentaje de fibras, con valores de 7,5 cm para la mezcla de hormigón sin fibras, 5,50 cm para la mezcla de hormigón con 0,37% de fibra, 4,50 cm para hormigón con 0,74% de fibra y 1 cm para la mezcla de hormigón con 1,11% de fibra, esto se debe a la geometría helicoidal de las fibras las cuales se incorporan en la mezcla genera una mayor cohesión y a

su vez evitando la segregación de las partículas de la misma, por lo cual no refleja un valor real de asentamiento.

“Efecto de las fibras de PET sobre las propiedades mecánicas, la relación tensión-deformación y la contracción por secado del hormigón”. (Khalil I. Aziz - Sheelan M. Hama, 2019)

Esta investigación se realizó para investigar el efecto a largo plazo de agregar fibras plásticas de desecho de PET como resultado del corte de botellas de plástico utilizadas en la bebida gaseosa de conservación en diferentes características del hormigón de peso normal. Se llevaron a cabo porcentajes de fibra plástica por tasas volumétricas que oscilan entre 0% y 2%. Las siguientes pruebas se realizaron en las muestras que incorporan residuos de hormigón de fibra plástica: resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, resistencia a la rotura por tracción, relación tensión-deformación, módulo de elasticidad y deformación por contracción. Los resultados de las pruebas mostraron que el uso de fibras plásticas de desecho (1%) ha llevado al valor más alto de resistencia a la flexión, dividiendo la tensión en 40,6% y 32,8% a los 28 días, y 58,2% y 42,9% a los 270 días, respectivamente. Los valores de resistencia a la compresión y módulo de elasticidad son ligeramente diferentes de los de referencia en todas las edades. La deformación por contracción disminuyó al aumentar el porcentaje de fibras plásticas. La deformación por contracción más baja en comparación con el hormigón de referencia se encontró con un 1% de fibras en un 29,3% a los 28 días y un 69,4% a los 270 días. Las relaciones tensión-deformación mostraron un comportamiento más dúctil al aumentar el contenido de fibras.

1.3. Objetivos generales y específicos

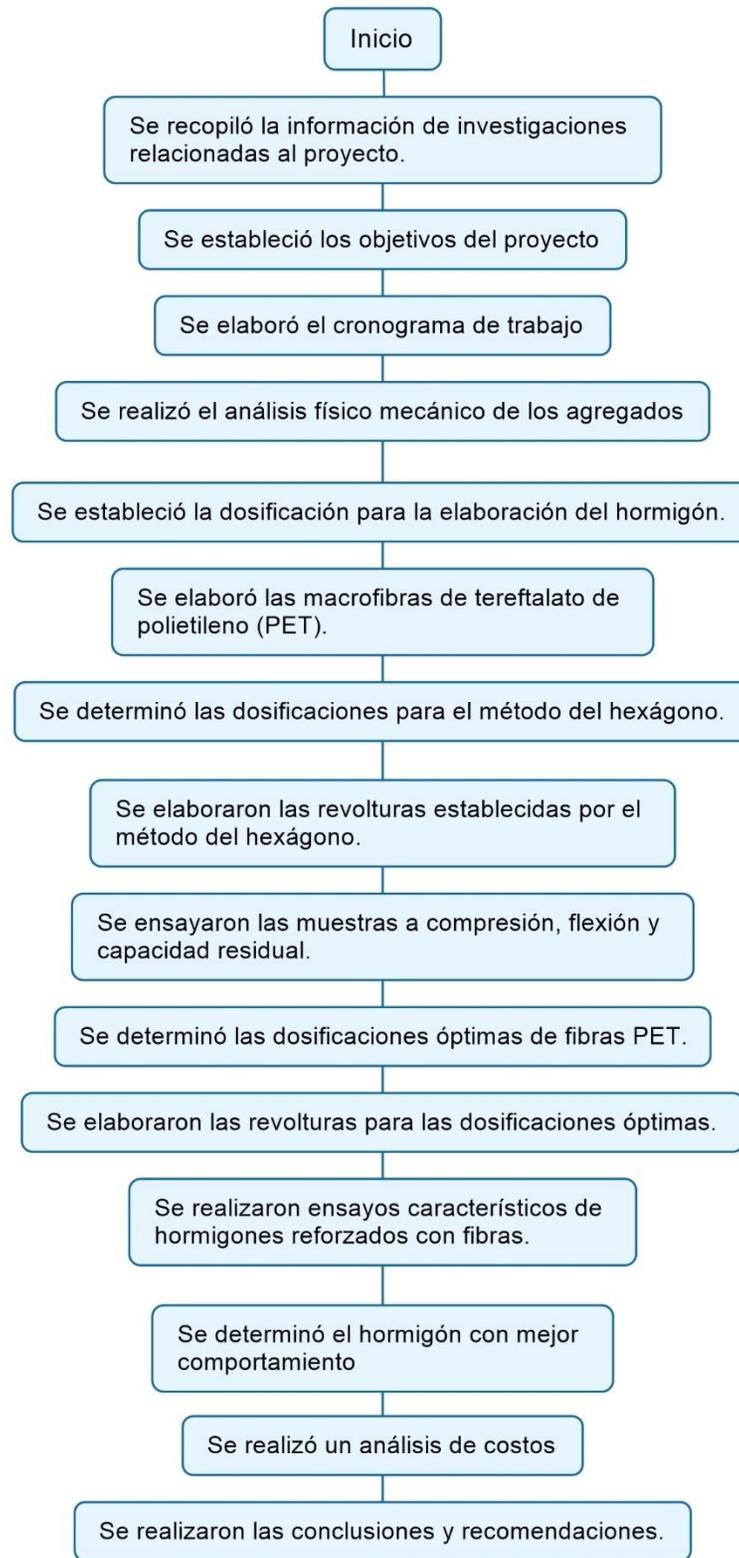
1.3.1 Objetivo General

Comparar el comportamiento entre un hormigón tradicional y un hormigón reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET, determinando sus características mediante ensayos a compresión, flexión y capacidad residual para su aplicación en pavimento rígido.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Recolectar y preparar macrofibras PET para su empleo en el refuerzo de hormigones.
- Determinar las proporciones óptimas para cada tipo de fibra mediante el diseño experimental del método del hexágono.
- Dosificar y confeccionar probetas con un hormigón tradicional y con un hormigón reforzado con fibras PET.
- Verificar las propiedades del hormigón reforzado con fibras en estado fresco: fluidez, consistencia y peso unitario.
- Verificar las propiedades del hormigón reforzado con fibras en estado endurecido: compresión, flexión, capacidad residual.
- Realizar una comparación de costos de producción entre un hormigón tradicional y uno reforzado con fibras PET.
- Determinar las ventajas de emplear un hormigón reforzado con fibras PET en pavimento rígido.

1.4. Metodología



2. MARCO TEÓRICO



2. Marco teórico

2.1. Hormigón reforzado con fibras

Según la definición del Anejo 14 de la instrucción EHE 08, “los hormigones reforzados con fibras (HRF), se definen como aquellos hormigones que incluyen en su composición fibras cortas, discretas y aleatoriamente distribuidas en su masa”.

El hormigón reforzado con fibras, según la definición de (ACI 544.1R 96, 2002), no es más que hormigón hecho a partir de cementos hidráulicos, conteniendo áridos finos, o finos y gruesos, y fibras discretas discontinuas

La aplicación de estos hormigones puede ser con finalidad estructural o no estructural. El empleo de fibras en el hormigón tiene finalidad estructural cuando se utiliza su contribución en los cálculos relativos a alguno de los estados límite últimos o de servicio y su empleo puede implicar la sustitución parcial o total de armadura en algunas aplicaciones. Se considerará que las fibras no tienen función estructural, cuando se incluyan fibras en el hormigón con otros objetivos como la mejora de la resistencia al fuego o el control de la fisuración.

La adición de fibras es admisible en hormigones en masa, armados o pretensados, y se puede hacer con cualquiera de los diversos sistemas, sancionados por la práctica, de incorporación de las fibras al hormigón y, en el caso de que así no se hiciera, debe explicitarse el sistema utilizado.

Las fibras por lo general ayudan a reducir la segregación de la mezcla de concreto y previenen la formación de fisuras durante la construcción y en algunos casos las fibras actúan como malla electrosoldada y varillas de refuerzo, incrementando la tenacidad del concreto y agregando al material capacidad de carga posterior al agrietamiento

2.1.1 Tipos de fibras

Las fibras utilizadas en el concreto generalmente son de acero, plástico, vidrio, de materiales naturales (celulosa de madera) y sistemas múltiples, disponibles en una amplia variedad de formas, tamaños y espesores.

Así también, de acuerdo a la Norma ASTM C 1116-911, el hormigón reforzado con fibras se clasifica en cuatro grupos por el tipo de fibra incorporada, aun cuando otros autores las dividen según su origen mineral, sintético o natural.

a) Fibras de acero

Se definen fibras de acero destinadas al hormigón armado como longitudes cortas y discretas de acero que tienen una relación de aspecto (relación de longitud a diámetro) de aproximadamente 20 a 100, con cualquiera de varias secciones transversales, y que son lo suficientemente pequeñas para ser dispersos al azar en una mezcla de hormigón sin endurecer utilizando procedimientos de mezcla habituales.

b) Fibras de vidrio

Los materiales compuestos generados por las fibras de vidrio, son conocidos con el nombre de GFRC (Glass Fiber Reinforced Cement), su matriz resistente es un mortero de cemento hidráulico armado con fibras de vidrio. Están especialmente diseñadas para ser compatibles con el ambiente alcalino de la matriz del concreto.

Este tipo de fibras aumenta la durabilidad abarcando a su vez revestimientos químicos, formulados para ayudar en el combate de la rigidización inducida por la hidratación y en el uso de una lechada con humo de sílice para rellenar los vacíos entre las fibras, reduciendo la capacidad de infiltración del hidróxido de calcio. La mayor aplicación del concreto reforzado con fibras de vidrio es la producción de paneles de fachada.

c) Fibras sintéticas

Las fibras sintéticas son las que se fabrican por el hombre y son resultado de la investigación y el desarrollo de las industrias petroquímicas y textiles. Los tipos de fibras usadas en concreto son: acrílicas, aramida, carbón, nylon, poliéster, polietileno y polipropileno.

Las fibras sintéticas pueden reducir la contracción plástica y, consecuentemente, la fisuración; además pueden ayudar al concreto después que se fisura. Se producen como

monofilamentos cilíndricos continuos que se pueden cortar en longitudes específicas o como filmes y cintas. Estas fibras se componen de finas fibrillas de sección transversal rectangular.

Las fibras sintéticas son generalmente utilizadas en: tablonos de cemento, la producción de tejas, mortero, concreto pretensado, entre otros. Una aplicación importante de las fibras sintéticas es, además, el Whitetopping ultra delgado, para retardar el desarrollo de baches en esta estructura de pavimento

d) Fibras naturales

Las fibras naturales se han usado como una forma de refuerzo desde mucho tiempo antes de la llegada de la armadura convencional de concreto. Los ladrillos de barro reforzados con paja y morteros reforzados con crin de caballo son unos pocos ejemplos de cómo las fibras naturales se usaron como una forma de refuerzo. Muchos materiales de refuerzo natural se pueden obtener con bajos niveles de costos de energía, usando la mano de obra y la pericia disponibles en la región. Estas fibras se usan en la producción de concretos con bajo contenido de fibras.

2.1.2 Interacciones Fibra-Matriz

La adherencia entre la fibra y la matriz debe ser máxima, tanto para evitar su deterioro (desprendido), como para que la transmisión de la carga desde la matriz a las fibras sea óptima.

Tres tipos de interacciones son particularmente importantes: 1 adhesión física y química; 2 fricción; 3 anclaje mecánico inducido por deformaciones en la superficie de la fibra o por geometría compleja en general (por ejemplo, rizos, ganchos, fibras deformadas).

a) Influencia de la Longitud de la Fibra

Las fibras se clasifican en cortas, largas y continuas, pero en realidad es la relación l/d la que determina la resistencia que una fibra va a comunicar a la matriz. Es interesante que el diámetro sea pequeño para reducir el número de defectos y dificultar su propagación. También interesa que las fibras sean lo más largas posibles, porque los extremos de las mismas

soportan menos carga que las partes centrales. Por consiguiente, interesa que la relación l/d sea lo mayor posible.

Para cada material, existe una longitud de fibra crítica, l_c , a partir de la cual se produce un importante aumento en la resistencia. Esa longitud crítica depende del diámetro de la fibra, de su resistencia a la tracción (s_f) y de la resistencia de la unión matriz-fibra (t_c).

Si la longitud de la fibra es menor que l_c el refuerzo conseguido es muy pequeño. Por el contrario, si estamos en dimensiones $l > l_c$ (15 veces más) se dice que la fibra es continua, y es así como resultan propiedades generalmente más interesantes en la preparación de composites. (Suárez Riestra, 2012)

b) Influencia de la orientación de fibras

El resultado obtenido en este ensayo está fuertemente condicionado por la densidad de fibras y su orientación, además de por el tipo de fibra. Por un lado, cuanto mayor es la cantidad de fibras o, dicho de otro modo, su densidad, mayor es la resistencia residual. Por otra parte, cuando las fibras se encuentran orientadas paralelamente a la dirección de la tracción, su eficiencia estructural es más alta y el resultado macroscópico es una mayor resistencia residual. Por el contrario, si las fibras se encuentran orientadas perpendicularmente a la dirección de la tracción, su influencia es nula y, de facto, el material se comporta como si no tuviese fibras.

Hasta la fecha, la orientación de las fibras es un fenómeno que no es controlable durante la construcción, lo que introduce incertidumbre en el resultado final. La orientación de las fibras, como tantos otros fenómenos en el hormigón, muestra un claro efecto de escala. Esto hace que en probetas pequeñas, como las que habitualmente se utilizan en los ensayos de caracterización de los hormigones con fibras, la orientación de estas sea, fundamentalmente, a lo largo del eje de la misma, mientras que en elementos más grandes (vigas o losas) su orientación sea muy diferente. Este hecho afecta significativamente a la resistencia residual real del hormigón, puesto que en la probeta se obtienen, por norma

general, valores de resistencia residual sustancialmente más altos que los que se obtienen en las piezas más grandes. (Jesús Mínguez Algarra, González Cabrera, & Vicente Cabrera, 2017)

2.1.3 Mecánica del Hormigón Reforzado con Fibras

Un hormigón reforzado con fibras hace referencia a un hormigón normal que ha sido tratado y se le ha añadido ciertos filamentos adicionales. Los elementos que se le agregaron son específicamente fibras, que por lo general son pequeñas y moderadas.

Mediante la adición de fibras de diferente naturaleza al hormigón, sean estos micro o macro fibras, se obtiene un nuevo material con características mecánicas diferentes de un hormigón normal.

La evaluación de las diferentes propiedades del FRC se efectúan mediante ensayos normados, algunos son típicos del hormigón ordinario, y otros creados expresamente para el hormigón fibroreforzado.

a) Aumento en la resistencia al impacto

La resistencia al impacto, se considera como la capacidad de una muestra para soportar golpes repetidos y absorber la energía. En el hormigón reforzado con fibras se determina el número de golpes que la muestra soporta a la presencia de la primera fisura y el número de golpes hasta la rotura.

Para una misma resistencia a compresión, la resistencia al impacto es mayor para un agregado grueso de mayor angularidad y aspereza en la superficie. Esto apoya la idea de que la resistencia al impacto se relaciona más estrechamente con la resistencia a tracción del hormigón que con la resistencia a la compresión. Por consiguiente, el hormigón elaborado con agregado rodado tiene menor resistencia al impacto y la falla se produce por insuficiente adherencia entre el mortero y el agregado grueso. De esta manera, el hormigón reforzado con fibras mejora esta situación, pues por la cantidad de fibras, y su longitud de anclaje permite absorber estos esfuerzos de tracción que genera el impacto.

Las condiciones locales de ubicación de una obra de hormigón influyen en el comportamiento de la resistencia a impacto en comparación a la resistencia a compresión, por ejemplo, la resistencia al impacto de un hormigón saturado en agua es menor que cuando el concreto este seco.

El empleo de fibras en el hormigón, incrementa la resistencia al impacto dependiendo de la cantidad, longitud de fibra a emplear, la adherencia y distribución de las fibras en la matriz que las envuelve.

La resistencia al impacto del hormigón se considera de mucha importancia para el hincado de pilotes prefabricados y al impacto accidental durante el manipuleo de las mismas y en otras estructuras como los pavimentos rígidos.

b) Disminución del agrietamiento por contracción plástica

La contracción plástica es un fenómeno característico del hormigón fresco, causada por la tensión capilar en el agua de los poros. La fisuración por contracción plástica ocurre entre los treinta minutos y ocho primeras horas después del amasado, poco después de la desaparición del brillo de la pasta húmeda, cuando la superficie se hace mate. Si la pérdida por evaporación excede la cantidad aportada por la exudación, se activan las fuerzas capilares en el agua de los poros.

En este proceso de activación de fuerzas capilares; si la disminución de volumen esta coaccionada, por el árido grueso inmediatamente debajo de la cara superficial de la estructura, la probabilidad de fisuración es muy elevada, puesto que las tensiones de tracción no pueden ser absorbidas al no poseer el hormigón ninguna resistencia a tracción.

La importancia de la fisuración es fundamental para elementos estructurales en los que predomina la superficie sobre el volumen como es el caso de pavimentos. Es típico en losas que las fisuras por este origen discurran paralelas entre si y formando ángulos alrededor de 45° con las esquinas, siendo irregular la separación entre las fisuras, con distancias comprendidas entre 0,2 metros y 1,0 metro.

Las fisuras de contracción plástica serán más frecuentes cuanto mayor sea la dosis de cemento empleada y más finamente molido se encuentre éste, dependiendo también de la relación agua/cemento utilizado, cuanto mayor sea la cantidad de agua mayor será la retracción también será mayor cuanto mayor sea la cantidad de finos en el hormigón, también depende de la procedencia de la arena empleada y de la cantidad de arcilla contenida en los agregados, etc. La aparición de estas fisuras es más frecuente en tiempo seco, soleado, y especialmente con viento, aunque las temperaturas no sean altas, por lo que también pueden aparecer en tiempo frío e incluso húmedo si existe viento.

El empleo de fibras para la reducción de la fisuración por contracción plástica, aminora el asentamiento de los agregados, elimina los canales capilares perjudiciales y previene un aumento de las presiones intergranulares. Las características aceptables de las fibras deben ser de un denier bajo y un contenido alto de filamentos (alto número de fibras por una unidad de volumen).

En los ensayos de fisuración por retracción restringida, las tensiones de contracción se transmiten en tensiones de tracción en el hormigón. Después de la fisura, se considera que las fibras transfieren tracción por las fisuras y actúan para detener o confinar la punta de la fisura de manera que esta sea muy pequeña.

c) Durabilidad

La durabilidad del hormigón puede definirse como la capacidad que tiene este para resistir la acción del ambiente, ataques químicos, físicos, biológicos o cualquier proceso que tienda a deteriorarlo. Así un hormigón durable será el que conserve su forma original y su capacidad resistente en servicio a través del tiempo, cuando se encuentre expuesto a las acciones anteriormente mencionadas.

La durabilidad del hormigón está muy relacionada con la magnitud de la porosidad del mismo y de la distribución y tamaño de sus conductos capilares. La permeabilidad de un hormigón, aunque en sí misma, no es una propiedad indicativa de la durabilidad, pero está

claramente relacionada con los mecanismos de penetración de sustancias agresivas al interior del mismo, en este sentido para determinadas estructuras se requiere un hormigón impermeable.

d) Acción de los ciclos de congelamiento-descongelamiento

Al igual que ocurre con cualquier material permeable, el agua puede penetrar al interior del hormigón y el congelamiento dará lugar a tensiones importantes que pueden destruirlo.

El agua al congelarse experimenta un incremento de volumen en un 9%. Si el agua llena parcialmente los poros del hormigón y el espacio libre ocupado por el aire es igualo superior a ese 9%, al producirse la helada existirá espacio suficiente para absorber la expansión y, por tanto, no se producirán tensiones en el hormigón que puedan dañarlo; sin embargo, si el grado de saturación es elevado y el espacio libre reducido, la expansión del agua se encontrara impedida y las tensiones a la que quedara sometido el hormigón podrá provocar la fisuración de la pasta de cemento.

Cuando la pasta contiene aire incluido y la distancia entre burbujas del mismo no es demasiado grande, estas tienden a atraer al agua no helada con más facilidad que los capilares que no permiten la presencia de tensiones peligrosas.

En el hormigón más que la helada en sí misma, son de mayor peligro las repeticiones sucesivas de heladas y deshielos con lluvias intermedias, es decir los denominados ciclos de congelamiento y descongelamiento; en estos, se produce una saturación del hormigón seguida de temperaturas bajas que provocan el congelamiento del agua y posteriormente una temperatura que descongela el hielo formado, para posteriormente producirse otra nueva saturación de agua y repetir el ciclo. Para conocer la resistencia frente a la acción de los ciclos de congelamiento y descongelamiento es necesario efectuar ensayos en laboratorio.

Estas acciones en los pavimentos rígidos, producen una fisuración y por consiguiente una disminución en la resistencia a flexión. Al emplear fibras que no presentan ningún cambio

por la acción de los ciclos anteriormente mencionados, las mismas incorporadas en el hormigón impiden una desintegración del mismo y mejora la resistencia a flexión.

2.2. Capacidad residual del hormigón reforzado con fibras

El esfuerzo residual describe la capacidad del material de seguir siendo cargado después de ocurrida la fisura antes de colapsar.

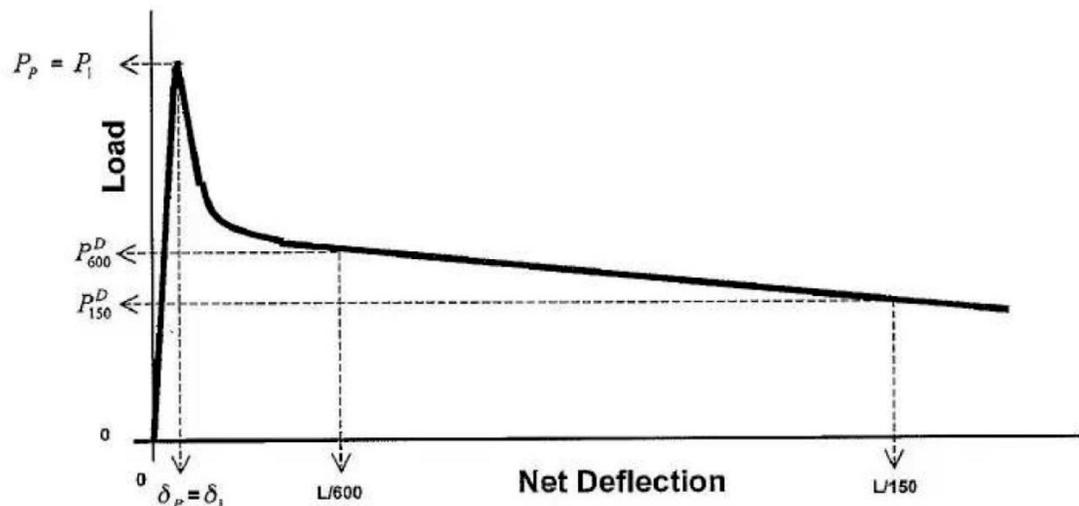
Una vez la matriz del concreto se ha fisurado, el concreto sin fibra simplemente colapsa y la estructura también, es decir que no hay continuidad en la estructura y puede caer en pedazos. En un hormigón fibroreforzado la falla y colapso de la estructura tienen lugar mucho después de la aparición de la fisura principal.

El hormigón fibroreforzado le permite a la estructura seguir absorbiendo cargas externas (que pueden ser las llantas de una tractomula, las fuerzas producidas por un sismo, o el empuje de un terreno) sin colapsar, le permite a la estructura seguir funcionando.

2.3. Relación de resistencias a flexión equivalente

La relación de resistencias equivalentes se define como la relación entre la resistencia alcanzada en la deflexión $L/150$ sobre la resistencia en primer pico multiplicada por 100 (Technical Report 34, Concrete Society 2016)

Figura 2.1 Curva carga deformación de una viga



$$R_{e,3} = \frac{f_{D150}}{f_P} \times 100\%$$

Donde:

$R_{e,3}$ = Relación de resistencias a flexión equivalente [%]

f_{D150} = Resistencia a flexión en la deformación $L/150$ (3mm) [MPa]

f_P = Resistencia Pico o Modulo de rotura a flexión [MPa]

2.4. Aplicaciones del hormigón reforzado con fibras

Actualmente las aplicaciones de los hormigones reforzados con fibras son los siguientes:

- Hormigones o morteros proyectados, para el soporte de obras subterráneas, como en la estabilización de taludes y ejecución de piscinas.
- Soleras y pavimentos
- Piezas prefabricadas tipo paneles de cerramiento y muros, piezas arquitectónicas complejas como bancos y escaleras y, en general, productos de hormigón prefabricado con fuerte carácter bidimensional o tridimensional.
- Forjados: El hormigón fibroreforzado comienza a emplearse cada vez más como un sistema apropiado para redistribuir tensiones en las capas de compresión de los forjados. Así mismo, sistemas novedosos del tipo forjado colaborante con encofrado perdido de chapa, desarrollan todas sus posibilidades permitiendo eliminar los mallazos de reparto de la capa de hormigón por hormigón fibroreforzado.

2.5. Botellas PET

El tereftalato de polietileno también conocido por su sigla PET, es el plástico que más se utiliza en envases y botellas, una característica destacable es que son 100% reciclables.

2.6. Propiedades de las botellas PET

El tereftalato de polietileno (PET) pertenece a los poliésteres y, al igual que el nylon, se utiliza ampliamente como fibra textil. Además de su uso como botellas y artículos moldeados por inyección.

A continuación, se presenta un resumen del estudio realizado por el Prof.Dr.Ir.A.K. Van Der Vegt a las propiedades de los polímeros en la universidad tecnológica de Delft, de los Países Bajos, del que solo tomamos las propiedades del Tereftalato de polietileno:

Tabla 2.1 *Propiedades del Tereftalato de polietileno (PET)*

Propiedad	Valor
Fórmula molecular	$(C_{10}H_8O_4)_n$
Densidad amorfa	1,370 g/cm ³
Densidad diamantina	1,455 g/cm ³
Módulo de Young (E)	2800–3100 MPa
Presión(σ_t)	55–75 MPa
Límite elástico	50–150%
Prueba de impacto	3,6 kJ/m ²
Prueba de fractura y ruptura	14.89 N/m ²
Temperatura de transición vítrea	75 °C
Punto de fusión	260 °C
Vicat B	170 °C
Conductividad térmica	0,24 W/(m·K)
Coefficiente de dilatación lineal (α)	$7 \times 10^{-5}/K$
Calor específico (c)	1,0 kJ/(kg·K)
Absorción de agua (ASTM)	0,16
Índice de refracción	1,5750

(vam der Vegt , 1991)

3. MARCO PRÁCTICO



3. Marco práctico

3.1. Trabajo de gabinete

El trabajo de gabinete se dividió en dos partes, inicialmente se determinó la dosificación base que se empleó en la elaboración de un hormigón tradicional, así como las cantidades de macrofibras PET que se adicionarán para su comparación con el hormigón fibroreforzado. Al concluir los ensayos de laboratorio con los datos encontrados se procedió al análisis e interpretación de resultados.

3.2. Fase previa

En la fase previa se realizaron revolturas de prueba con una dosificación provisional con el fin de establecer el rango de análisis en cantidades de fibras PET que serán incorporadas al hormigón, éste trabajo se desarrolló durante un periodo de un mes.

Durante esta fase se tuvo un período de capacitación, entrenamiento y resolución de problemas en el manejo de los equipos para ensayar las vigas según norma ASTM C1609, puesto que es la primera vez que se emplea el equipo en instalaciones del IEM.

3.3. Dosificación de hormigón con fibras

Es importante recalcar que en la actualidad aún no se desarrolló un método de dosificación con fibras sintéticas que permita aplicaciones específicas. Por lo tanto, incorporamos las fibras sin modificar la cantidad de materiales de la dosificación base.

3.3.1 *Determinación de las cantidades de macrofibras*

Para determinar el rango de las cantidades de fibras para este estudio, asumimos un volumen máximo de fibras del 2% en volumen. Según Markovic, 2006, un volumen menor al 2% de fibras en masa del hormigón no presenta diferencia significativa respecto a hormigones sin fibras respecto al módulo de elasticidad.

Según la norma ACI 544.3R-8, el porcentaje de fibras en volumen debe tener un rango entre un 0,2 al 2% en volumen dependiendo del tamaño máximo del agregado.

Para esta investigación se adoptó un rango entre un 5 a un 25 kg/m³ de fibras que representa un el 0,36% a 1,8 % en volumen del hormigón.

3.3.2 Determinación de la longitud y anchos de fibras

En cuanto a la longitud, la EHE recomienda que la longitud de la fibra sea al menos el doble del tamaño máximo del árido que se utilice para el hormigón, igualmente Colin D. Johnston, 2010 en su libro “Hormigones y cementos reforzados con fibras” comenta que “las fibras comercializadas para su uso en concreto rara vez son más cortas que 14 mm o más de 65 mm, con diámetros de 1 - 3 mm”.

Teniendo en cuenta estas recomendaciones se asume para el proyecto de investigación una longitud de 50 mm y anchos de 1 mm, 2 mm y 3 mm.

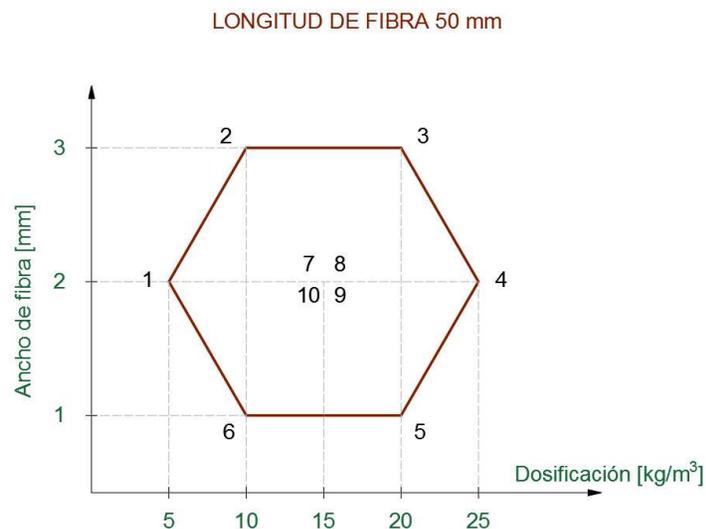
3.4. Diseño experimental

Las dosificaciones realizadas responden al diseño del experimento que es un diseño factorial en un hexágono con repeticiones en el punto central.

También se realizó vaciados de control para un contenido de 0% de contenido de fibras en la elaboración del hormigón.

Se codificaron las revolturas de la siguiente manera.

Figura 3.1 Diseño experimental para fibras PET de 50 mm (Hexágono)



Donde:

Tabla 3.1 Puntos del modelo del hexágono

Nº	DESCRIPCIÓN (Ancho; Dosificación)
1	2 mm; 5 kg/m ³
2	3 mm; 10 kg/m ³
3	3 mm; 20 kg/m ³
4	2 mm; 25 kg/m ³
5	1mm; 20 kg/m ³
6	1mm; 10 kg/m ³
7	2mm; 15 kg/m ³
8	2mm; 15 kg/m ³
9	2mm; 15 kg/m ³
10	2mm; 15 kg/m ³

3.5. Trabajo en Laboratorio

El trabajo de investigación se llevó a cabo en el Instituto de Ensayo de Materiales (IEM) en Laboratorio del área de Hormigones de la carrera de Ingeniería Civil de la UMSA.

3.5.1 Materiales

Los materiales utilizados en la investigación fueron seleccionados de acuerdo a la disponibilidad en nuestro medio.

Se determinaron las propiedades de los agregados para una dosificación adecuada del hormigón.

a) Cemento

Se empleó un solo tipo de cemento por su mayor disponibilidad en el mercado, siendo éste el Cemento Viacha Estándar IP-30, la adquisición del cemento se hizo directamente de la agencia más cercana a los predios del Instituto de Ensayo de Materiales ubicado en Cota Cota.

El cemento se almacenó en el laboratorio de Hormigones cuya humedad relativa varía entre 30 a 33%, las fechas de producción varían de 7 días a 1 mes antes del vaciado, esto se debe al almacenamiento de las agencias de venta.

El peso específico del cemento utilizado fue de 2,810, que en la dosificación de hormigones es la propiedad que más nos interesa para la investigación.

b) Agregados

La grava utilizada fue proporcionada por el Instituto de Ensayo de Materiales que disponía de un acopio de alrededor de 6 m³, del cual se emplearon para el proyecto cerca de 2 m³.

Se hizo una sola provisión de agregado fino procedente de Chacoma, sujeto al espacio físico del Instituto de Ensayo de Materiales y a los volúmenes de vaciado que fueron 2 m³.

La grava se almacenó en el área designada para acopio de materiales sobre una lona y de igual manera cubierta con una carpa, la arena se almacenó en los depósitos de arena.

Figura 3.2 Almacenamiento de agregados



Peso específico (Pe) y absorción (%AB)

Para determinar el Pe y %Ab, se emplearon las normas ASTM C-127 para la grava y ASTM C-128 para la arena.

Figura 3.3 Determinación del peso específico de los agregados



Peso unitario (PU) y porcentaje de huecos (%Hu)

El procedimiento empleado para estas propiedades está de acuerdo a la norma ASTM C-29 para agregados gruesos y finos.

Figura 3.4 Ensayo de peso unitario



Granulometría de los agregados

Para la determinación de la granulometría del agregado grueso y fino se empleó la norma ASTM C-136

Material más fino que pasa por el tamiz N°200

Este ensayo esta normalizado por la ASTM C-117.

Figura 3.5 Ensayo material más fino que el tamiz N°200



Equivalente arena

Ensayo regulado por la norma ASTM D-2419

Figura 3.6 Ensayo de equivalente arena



Impurezas orgánicas

Este método de ensayo esta normalizado por la ASTM C-40.

Figura 3.7 Ensayo de impurezas orgánicas



Desgaste de los ángeles

El ensayo de Los Ángeles está normalizado por la ASTM C-131.

Figura 3.8 Ensayo de desgaste de Los Ángeles



Porcentaje de partículas planas y alargadas

Este método permite la determinación de partículas planas y alargadas en los agregados gruesos, las cuales se limitan a un máximo del 15%.

El procedimiento consiste en considerar como planas y alargadas las partículas cuya longitud exceda en tres veces su espesor y cuando sea necesario o por irregularidades de éste, se tomará el promedio de tres mediciones.

Caras producidas por fracturas

Este método permite la determinación del porcentaje de agregados que presentan una o más caras producidas por fracturas (chancado machaqueo).

Terrones de arcilla y partículas desmenuzables

Este método permite la determinación aproximada de las partículas de arcilla y partículas desmenuzables en los agregados naturales. tienen relación con la resistencia mecánica del agregado y con la capacidad del agregado de permanecer inalterable a través del manejo, transporte y amasado; es de gran importancia para determinar la aceptabilidad del agregado respecto a los requerimientos dados.

Resumen:

El agregado presentó una leve desviación de los límites granulométricos del material según norma ASTM C33.

Para el ensayo del material más fino que el tamiz N°200 se especifica un límite del 1,0% con la posibilidad de que sea no mayor a 1,5% si el agregado está libre de pizarras o arcillas, el valor obtenido fue de 0,77% que cumple con los límites de la norma.

El desgaste en la máquina de los anteles fue del 23,30% que está dentro de los límites establecidos por la norma que no debe exceder el 50%.

La arena tiene un contenido de partículas finas que pasan el tamiz N°200 de 2,53% que cumple lo establecido en la norma ASTM C33 al ser menor del 3%.

En el ensayo de colorimetría la arena dio como resultado incoloro, que se cataloga o designa a arenas aptas para hormigones de alta calidad.

El módulo de fineza tuvo valor de 2,75 que se encuentra dentro de los límites de 2,3 y 3,1, cumpliendo los límites de la norma ASTM C33.

La granulometría de la arena cumple con los límites granulométricos para requerimientos de agregados como se presenta en la tabla 3.2

A continuación, se presenta los resultados de las propiedades de los agregados.

Figura 3.9 Curva granulométrica

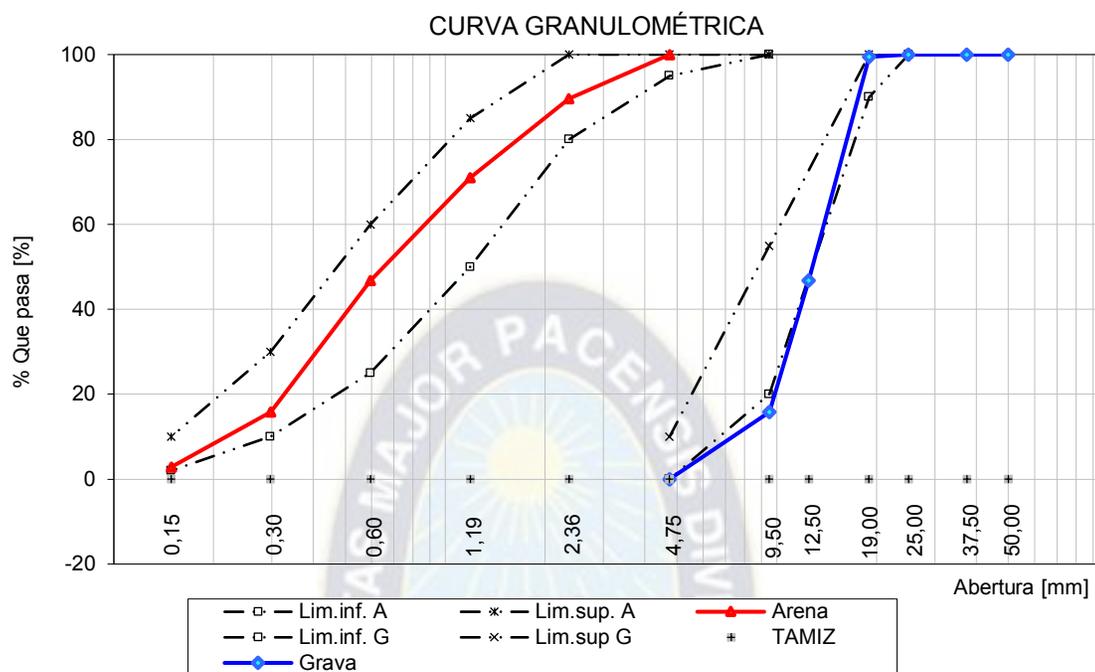


Tabla 3.2 Propiedades de los agregados

Propiedades de los agregados					
Propiedad	Abreviatura	Unidad	Agregado		Norma ASTM
			Grueso	Fino	
Peso específico sss	Pe _{sss}		2,622	2,607	C 127-C 128
Peso específico seco	Pe _{seco}		2,573	2,554	C 127-C 128
Peso unitario compactado	PUC	kg/m ³	1569	1571	C 29
Peso unitario suelto	PUS	kg/m ³	1461	1455	C 29
Absorción	AB	%	1,93	2,09	C 127-C 128
Porcentaje de huecos (PUC)	Hu PUC	%	38,91	38,38	C 29
Porcentaje de huecos (PUS)	Hu PUS	%	43,12	42,92	C 29
Tamaño máximo	TM	pulg	3/4"	-	C 136-C 33
Módulo de fineza	Mf	-	6,81	2,749	C 136
Desgaste	Des	%	23,30	-	C 131
Partículas finas (tamiz 200)	Pf	%	0,77	2,53	C 117
Equivalente arena	EA	%	-	61	D 2419
Partículas planas y alargadas	PPA	%	14,26	-	-

NOTA: Los valores que muestra la tabla son el promedio de los resultados de las muestras que se detallan en el anexo 1.

c) Agua

El agua toma muchos papeles al momento de dosificar hormigones en todas sus variedades, participa en las reacciones de hidratación del cemento, confiere la trabajabilidad

necesaria para una correcta puesta en obra, durante el proceso de curado evita la desecación, mejora la hidratación del cemento e impide una retracción prematura. En la investigación se empleó el agua potable, al ser potable, está libre de sustancias perjudiciales para el hormigón como los limos, arcillas, materiales orgánicos y ácidos en general, álcalis sales, glúcidos y aceites.

3.5.2 Fibras

En el proyecto se utilizará macrofibras elaboradas a partir de botellas PET (tereftalato de polietileno), para tal efecto se llevó a cabo el procedimiento descrito a continuación:

a) Recolección de botellas PET.

En esta etapa, se recolectaron envases PET de refrescos de 2, 2,5 y 3 litros, teniendo cuidado de que el estado de las botellas no presente deformaciones significativas, esto para facilitar el proceso de fileteado.

Algunas condiciones más para que el proceso de elaboración de fibras sea más eficiente es que el cuerpo de las botellas sea liso y sin diseños en alto y bajo relieve.

Para la recolección de botellas se tuvieron varias fuentes, una discoteca, restaurants y viviendas familiares. Esta etapa tuvo lugar cada semana previa a los vaciados, durante toda la elaboración del proyecto.

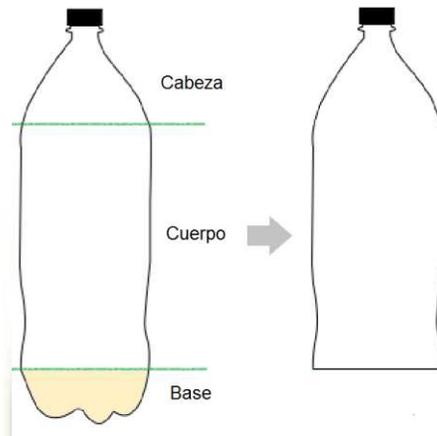
Figura 3.10 Etapa de recolección y lavado de botellas PET



b) Preparado de las botellas PET

Antes de realizar el fileteado de las botellas se hicieron recortes transversales lo más perpendicular posible al eje en la base de los envases. Posteriormente se quitaron las etiquetas y un lavado para quitar cualquier suciedad o residuo existente.

Figura 3.11 Preparación de envases PET

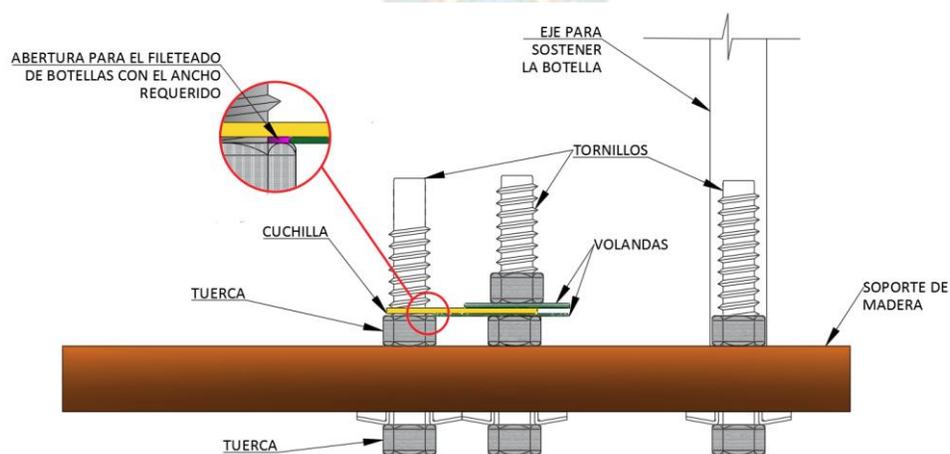


c) Fileteado de las botellas PET

Para este propósito se fabricó una herramienta de corte que está regulado para cada ancho de fibras de 1 mm, 2 mm y 3 mm adoptados para el presente proyecto.

La fabricación de la herramienta estuvo sometida a varios ensayos de prueba y error, se elaboraron distintos modelos hasta encontrar el prototipo mas apropiado y eficiente de uso.

Figura 3.12 Herramienta de corte para botellas PET



La herramienta tiene una disposición tal que la botella se coloca dentro de un eje para facilitar su rotación y estabilidad, a continuación, se inicia el corte girándolo y haciéndolo pasar por una cuchilla esmerilada que está en contacto con la base la botella, el hilo formado se enrosca en una tabla para facilitar su manejo.

Figura 3.13 Fileteado de hilos a partir de botellas PET



Una de las principales dificultades en este proceso fue el fileteado de hilos de 1mm de ancho, que en botellas dobladas o con muchas deformaciones por diseños de las marcas de refrescos, imposibilitaban el corte continuo y provocaban una rotura en las tiras PET.

Una vez obtenido los hilos PET, se hacen los cortes cada 5 cm a través de una guillotina de tal modo que ya constituyen en las fibras.

Figura 3.14 Fibras PET de 1 mm, 2 mm y 3 mm de ancho recortadas a una longitud de 5 cm



Este procedimiento es posible automatizarlo mediante el uso de máquinas para reducir tiempos de corte y para el fileteado, así los costos de producción de las fibras reducen significativamente su precio unitario y permite el empleo de estas fibras sin afectar considerablemente los costos del hormigón en obra.

3.5.3 Mezclas de prueba

Las revolturas de prueba se realizaron con el objeto de corregir el asentamiento en función del peso unitario del hormigón fresco, variando la cantidad de agua de modo que se obtenga la cantidad requerida para cumplir las condiciones buscadas, manteniendo constante la relación agua/cemento (a/c), se determina la cantidad de cemento y las nuevas cantidades de agregados siguiendo la norma ACI 211.1R

Se vació una revoltura de prueba para el hormigón simple o tradicional con las proporciones calculadas según la dosificación por norma ACI 211.1R, posterior a ello se hizo un ajuste a la revoltura de prueba para encontrar las cantidades o proporciones que cumplan el asentamiento buscado.

Tabla 3.3 Dosificación de prueba

Materiales	Unidad	Dosificación Base
Agua	l/m ³	202,00
Cemento	kg/m ³	371,73
Grava	kg/m ³	980,82
Arena	kg/m ³	685,79
Relación a/c	-	0,543

3.5.4 Mezcla ajustada

Con la corrección de la dosificación de prueba se halló la dosificación final. A esta dosificación base se le hizo correcciones por contenido de humedad para determinar las cantidades de la dosificación operativa.

En estas dosificaciones es importante establecer tanto las variables como las constantes presentes en el desarrollo del proyecto.

Constantes: una vez determinada la dosificación base se mantienen constantes:

- Relación agua cemento (a/c).
- Proporciones de agregados.
- Sistemas y métodos de mezclado vaciado y compactado.

Variables: para las distintas proporciones de incorporación de macrofibras PET se presentan variación en:

- Asentamiento.
- Resistencia a compresión, flexión, tracción.
- Resistencia a impacto.
- Resistencia a flexión de probetas sometidas a ciclos de Hielo-Deshielo.

A continuación, se presenta en la tabla las cantidades ajustadas o dosificación final para 1 m³ de hormigón desarrollada en el proyecto.

Tabla 3.4 *Dosificación final*

Materiales	Unidad	Dosificación Base
Agua	l/m ³	234,73
Cemento	kg/m ³	431,96
Grava	kg/m ³	956,07
Arena	kg/m ³	602,66
Relación a/c	-	0,543

3.5.5 *Ensayos del hormigón*

A continuación, se describe los ensayos realizados durante el desarrollo del trabajo de investigación con las que se determinan las características de hormigón en estado fresco y endurecido.

a) Contenido de aire

El contenido de aire se determinó como está establecido en la norma ASTM C138-90 por el método gravimétrico.

Figura 3.15 Ensayo Normalizado Contenido de Aire (Gravimétrico) del Concreto



b) Asentamiento

El ensayo de asentamiento en el cono de Abrams es una medida de la consistencia de hormigón normalizado con la ASTM C143.

Figura 3.16 Ensayo de asentamiento



c) Fisuración

“El ensayo de fisuración del hormigón proviene de diversas investigaciones, quienes propusieron el empleo de probetas anulares para el estudio de la retracción restringida con las que simulan condiciones físico ambientales” B. Malberg, A. Skarendahl(1978).

El fenómeno de la fisuración por contracción plástica se debe a la disminución de volumen provocada por la pérdida de agua. Se puede definir como la deformación lineal dependiente del tiempo a temperatura constante medida sobre una probeta no cargada que se deja secar, ACI 224R (2001).

El ensayo de retracción impedida consiste en moldear el hormigón en un molde circular alrededor de un anillo de acero, dado que al estar restringida la retracción del hormigón por el anillo de acero éste ejerce una presión sobre el anillo que provoca tensiones solo en el sentido perpendicular al radio, para ello no se desmolda la probeta, las fisuras se presentan en sentido radial sin desmoldar la probeta. El ensayo se realizó con la adición de un ventilador con el propósito de acelerar la evaporación del agua superficial de hormigón de manera que se presenten fisuras.

El hormigón se vacía en un molde anular de acero proporcionado por el área de hormigones del IEM figura 3.17, con un diámetro exterior de 500 mm, un diámetro interior de 275 mm y una altura de 60 mm, una vez vibrada y enrasada la mezcla, se procede a instalar un ventilador con el propósito de que la acción del aire incremente la contracción plástica del hormigón

Figura 3.17 Método de ensayo de fisuración del hormigón



Al cabo de 24 horas, se procede a desconectar el ventilador y se realiza una identificación de las fisuras, con la medición de la longitud y ancho, figura 3.18, que se registra en planilla. Para la medición de fisuras se utilizó un microscopio digital junto al programa MicroCapture_veh, los mismos fueron proporcionados por el ingeniero Jhadiel Villafuerte.

Figura 3.18 Equipo para la lectura de longitud y espesor de fisuras



d) Compresión

Para determinar la resistencia a compresión del hormigón se ha empleado la norma ASTM C-39.

Se ensayaron probetas cilíndricas de 10 cm de diámetro y 20 cm de alto en la máquina de compresión del área de hormigones del IEM, figura 3.19, se ensayaron dos probetas a la edad de 7 días y otras dos probetas a los 28 días de edad. Las probetas se ensayaron con almohadillas de neopreno para ensayo a compresión de 10 cm de diámetro por 1/2" de espesor Shore A60/65 EDS normalizado por la ASTM D2000.

Figura 3.19 Ensayo de compresión



e) Flexión en hormigones reforzados con fibras

El ensayo de flexión en hormigones reforzados con fibras esta normalizado por la ASTM C1609.

Los ensayos de flexión se realizaron en la maquina universal del área de materiales, el equipo para la configuración del ensayo junto al transductor de desplazamiento lineal fueron provistos por el Instituto de Ensayo de Materiales y cabe mencionar que es la primera vez que se está ejecutando el ensayo a flexión para hormigones con fibras descrito en la ASTM C1609 en estas instalaciones.

Figura 3.20 Ensayo a flexión para hormigones con fibras



f) Tracción indirecta

El ensayo a tracción indirecta o método "brasileño" se ejecuta de acuerdo a lo indicado en la norma ASTM C 496.

El ensayo se realizó en la máquina de compresión del área de hormigones y los apoyos fueron proporcionados por el área de Materiales.

Figura 3.21 *Ensayo de tracción indirecta*

**g) Ciclos de congelamiento-descongelamiento**

El método de ensayo se desarrolló empleando el Procedimiento B de la norma ASTM C 666, consistente en congelamiento en aire y descongelamiento en agua.

Se adoptó un número de ciclos igual 7, al término de los ciclos las vigas se sometieron al ensayo de flexión normalizado por la ASTM C 1609.

Figura 3.22 Ensayo de ciclos de congelamiento descongelamiento



h) Impacto

El procedimiento de ensayo de impacto se detalla en la norma ACI 544.2R, esta norma nos permite determinar el número de golpes necesarios para la aparición de la primera grieta visible, así como en número de golpes para el fracaso final.

El martillo normalizado de 10 lb según ASTM D1557 requerido para el ensayo, fue proporcionado por el área de suelos del instituto de ensayo de materiales.

Figura 3.23 Ensayo de impacto



4. EVALUACIÓN DE RESULTADOS





4. Evaluación de resultados

A continuación, presentamos un resumen de los resultados obtenidos de las dosificaciones empleadas, un análisis de los resultados de cada uno de los ensayos realizados y una evaluación estadística con graficas del comportamiento del hormigón reforzado con macrofibras PET.

4.1. Ensayos en hormigón fresco

Las propiedades del hormigón en estado fresco son importantes para el transporte, trabajabilidad, consistencia y a futuro, su resistencia y durabilidad para el cual se da a conocer los resultados de los ensayos ejecutados en el proyecto.

Tabla 4.1 Propiedades del Hormigón fresco: Correspondientes al hexágono

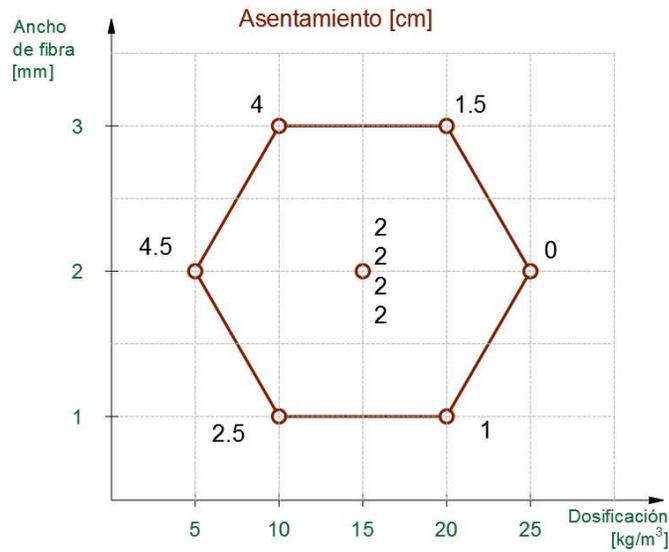
Dosificación	Fibras		Asentamiento Cono [cm]	Peso Unitario H° Fresco [kg/m ³]	Aire Atrapado %
	Cantidad [kg/m ³]	Espesor [mm]			
0	0	0	4,5	2258	0,33
1	5	2	4,5	2253	0,55
2	10	3	4,0	2243	0,99
3	20	3	1,5	2241	1,08
4	25	2	0,0	2223	1,88
5	20	1	1,0	2253	0,55
6	10	1	2,5	2254	0,51
7	15	2	2,0	2252	0,60
8	15	2	2,0	2248	0,77
9	15	2	2,0	2251	0,64
10	15	2	2,0	2250	0,68

Los valores expresados en la tabla 4.1 fueron extraídos del anexo 2(planillas 2 al 12)

4.1.1 Asentamiento cono de Abrams

En la figura 4.1 se puede observar una disminución de asentamiento a medida que se incrementa el contenido de fibras. Sin embargo, mientras mayor sea el ancho de fibras, menor es la reducción del asentamiento, es decir, para fibras de 3 mm se presenta una menor reducción del asentamiento que para fibras de 1 y 2 mm.

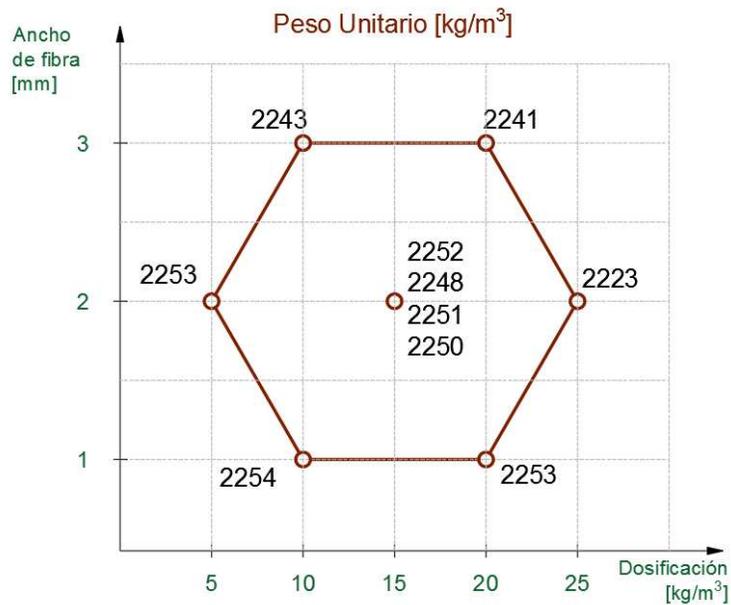
Figura 4.1 Resultados de asentamientos obtenidos para cada dosificación



4.1.2 Peso unitario

El esquema se representa el comportamiento del Peso unitario. Se puede ver que al incorporar fibras su valor va disminuyendo, sin embargo, esta disminución no es significativa ya que en términos porcentuales representaría valores menores al 1%.

Figura 4.2 Esquema de pesos unitarios por dosificación

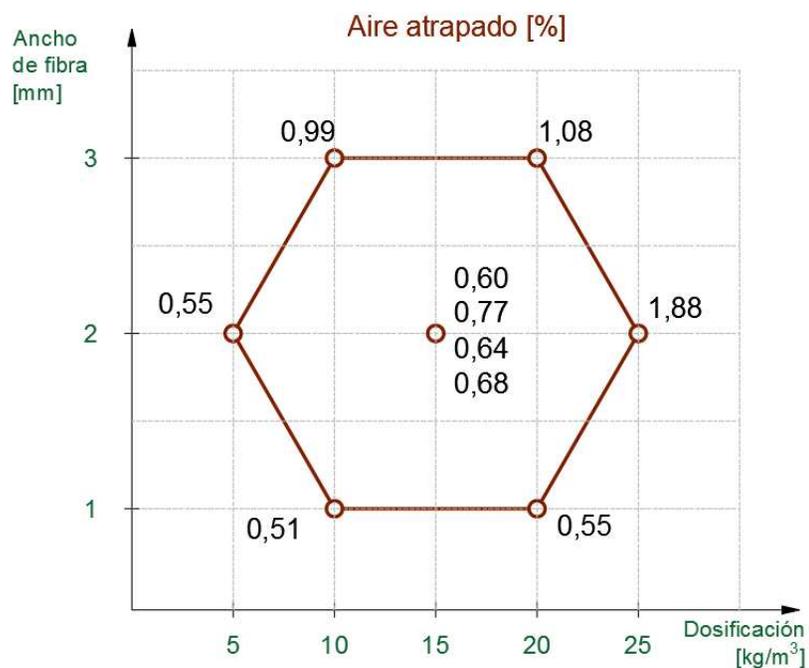


4.1.3 Contenido de aire

En la figura 4.3 podemos observar que el contenido de aire tiene una relación directamente proporcional con el contenido de fibras, a mayor incorporación de fibras, mayor es el porcentaje de vacíos.

Se conoce que en el hormigón el contenido de aire está relacionado con el peso unitario pues a mayor peso unitario menor contenido de aire.

Figura 4.3 Esquema de contenidos de aire por dosificación



4.2. Ensayos en hormigón endurecido

4.2.1 Resistencia a compresión

A continuación, se muestra la tabla 4.2 con las resistencias a compresión a los 7 y 28 días:

Tabla 4.2 Resistencia media a compresión

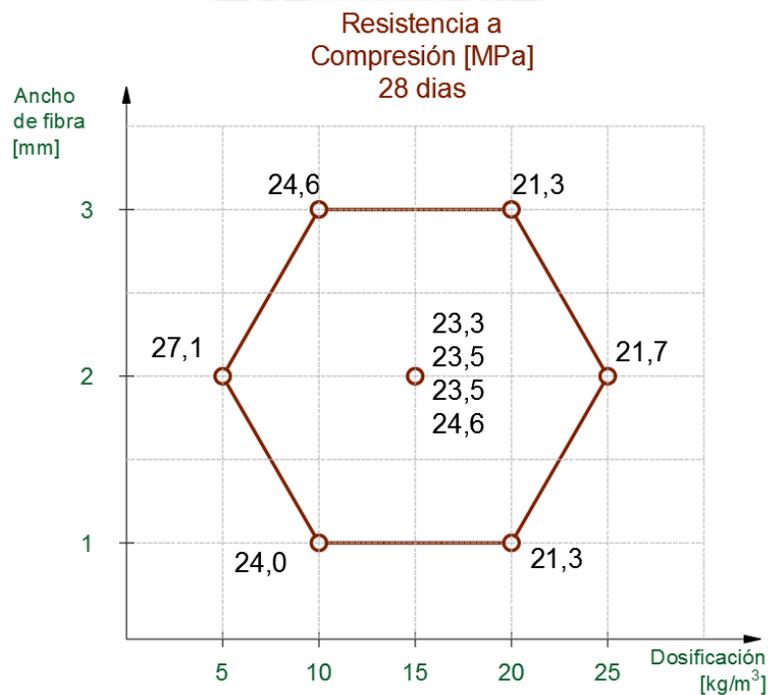
Nº	CÓDIGO	EDAD [días]	RESIST. [MPa]	% INCREM.
0	Sin Fibras	7	19,0	-
		28	25,4	-
1	2mm-5 [kg/m3]	7	22,7	19,2
		28	27,1	6,5
2	3mm-10 [kg/m3]	7	19,9	4,7
		28	24,6	-3,1
3	3mm-20 [kg/m3]	7	16,7	-12,2
		28	21,3	-16,3
4	2mm-25 [kg/m3]	7	14,9	-21,9
		28	21,7	-14,9
5	1mm-20 [kg/m3]	7	16,6	-13,0
		28	21,3	-16,5
6	1mm-10 [kg/m3]	7	20,2	6,2
		28	24,0	-5,5
7	2mm-15 [kg/m3]	7	17,5	-8,0
		28	23,2	-8,9
8	2mm-15 [kg/m3]	7	16,0	-15,7
		28	23,5	-7,7
9	2mm-15 [kg/m3]	7	16,7	-12,2
		28	23,5	-7,5
10	2mm-15 [kg/m3]	7	17,8	-6,5
		28	24,6	-3,5

Los valores expresados en la tabla 4.2 fueron extraídos del anexo 2 (planilla 14)

La Figura 4.4 muestra los resultados obtenidos de resistencias a compresión, se observa que a medida que se incrementa la cantidad de fibras en el hormigón, la resistencia a compresión adquiere valores más bajos.

A partir de la información recopilada sobre el uso de fibra en el concreto, se evidencia de que la eficiencia de las fibras radica en un porcentaje de adición a la mezcla específico el cual no debe ser sobrepasado para que las fibras cumplan su función y mejoren las características del concreto.

Figura 4.4 Resistencias medias a compresión a 28 días



4.2.2 Resistencia a Flexión

En la Tabla 4.3 se presenta los resultados de resistencias a flexión a 7 y 28 días:

Tabla 4.3 Resistencias medias a flexión

DOSIF.	Descripción	Módulo de Rotura						Incremento [%]
		7 días			28 días			
		f_P MPa	f_{D150} MPa	R_{T150}^D [%]	f_P MPa	f_{D150} MPa	R_{T150}^D [%]	
0	Sin Fibras	2,7	-	-	3,4	-	-	-
1	2mm-5[kg/m ³]	2,6	0,5	18,1	3,5	0,5	13,2	4,3
2	3mm-10[kg/m ³]	2,8	1,0	33,8	3,3	0,9	27,0	-0,9
3	3mm-10[kg/m ³]	2,6	1,7	63,2	3,1	1,6	52,2	-8,7
4	2mm-25[kg/m ³]	2,8	1,9	69,4	3,4	2,3	69,3	0,4
5	1mm-20[kg/m ³]	2,1	1,4	66,9	3,2	2,0	63,6	-6,1
6	1mm-10[kg/m ³]	2,7	1,1	39,9	3,4	1,0	30,6	-0,1
7	2mm-15[kg/m ³]	2,6	1,2	46,1	3,1	1,3	41,9	-7,8
8	2mm-15[kg/m ³]	2,5	1,1	45,3	3,3	1,4	41,3	-1,9
9	2mm-15[kg/m ³]	2,4	1,1	46,0	3,1	1,2	40,0	-8,8
10	2mm-15[kg/m ³]	2,7	1,3	47,8	3,1	1,3	42,0	-7,4

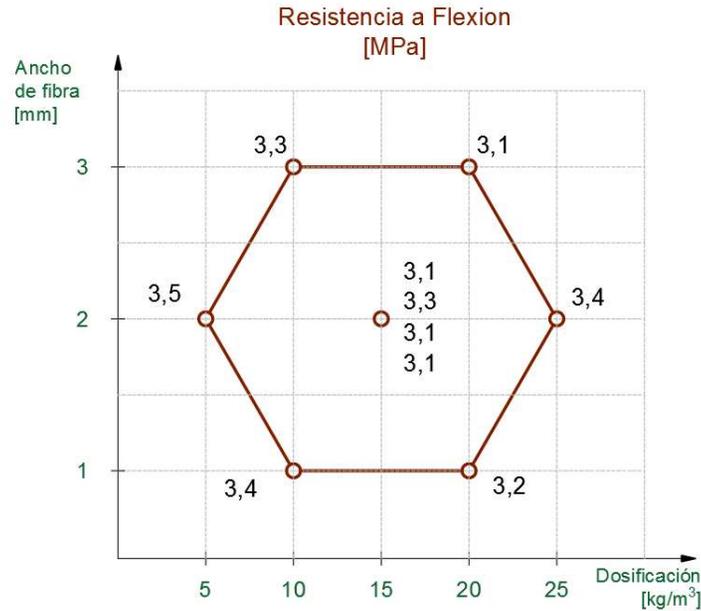
Nota: Los valores mostrados en la Tabla 4.3 fueron extraídos del anexo 2 (planillas 15 al 54)

a) Incremento de resistencias a flexión

De la tabla 4.3 podemos observar que las resistencias no obedecen a un comportamiento definido en incrementos y decrementos.

Como se menciona en la norma ACI 544.3R, en general, la adición de fibras no disminuye ni aumenta significativamente la resistencia a la flexión a los 28 días, pero puede aumentar la deformación en carga última y la resistencia residual y la tenacidad después del agrietamiento.

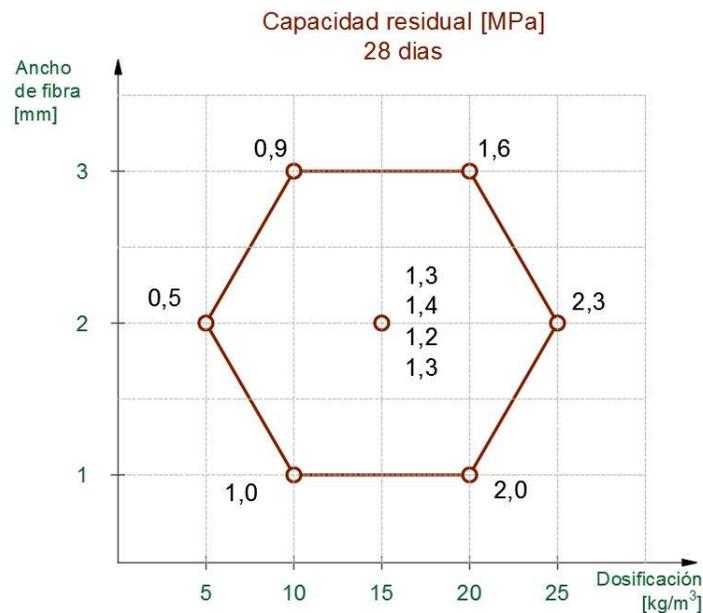
Figura 4.5 Resistencias a flexión a 28 días



b) Capacidad residual

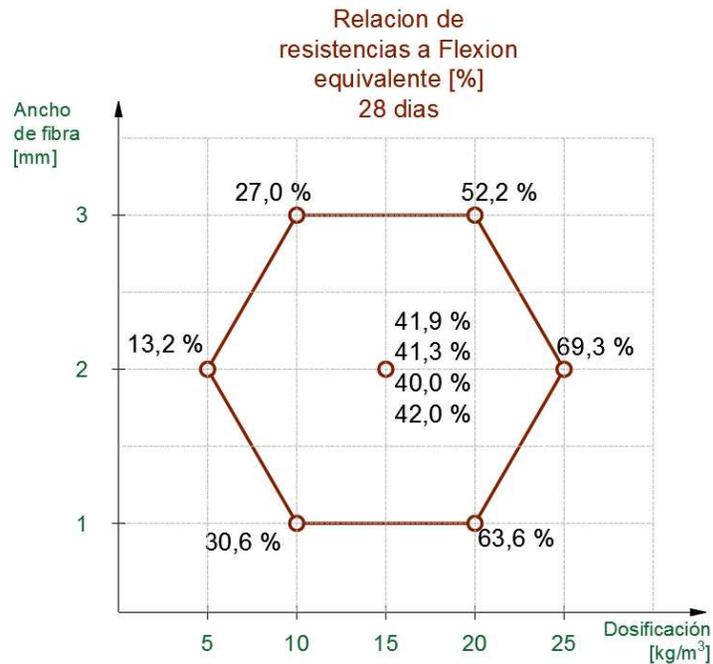
El comportamiento de la capacidad residual a la flexión del hormigón con fibras, adquiere valores más altos a medida que se incorpora mayor cantidad de fibras, como se observa en la gráfica 4.6.

Figura 4.6 Capacidad residual a 28 días



c) Relación de resistencias a flexión equivalente

Figura 4.7 Relación de resistencias a Flexión equivalente a 28 días



De la gráfica 4.7 se observa que existe una mayor relación de resistencias a la flexión equivalente en la medida que mayor sea la dosificación de fibras, se obtiene resistencias que llegan hasta un 69,3% de la resistencia pico cuando se añade al hormigón fibras de 2 mm con 25 kg/m³.

4.3. Diseño experimental

Para este proyecto se desarrolló los fundamentos de diseño experimental del modelo del hexágono. Para la construcción de este modelo se identificaron los siguientes parámetros:

Factor 1 (X_1): Cantidad de fibras expresadas en kg/m³, que varía en cinco niveles:

5 kg/m³, 10 kg/m³, 15 kg/m³, 20 kg/m³, 25 kg/m³

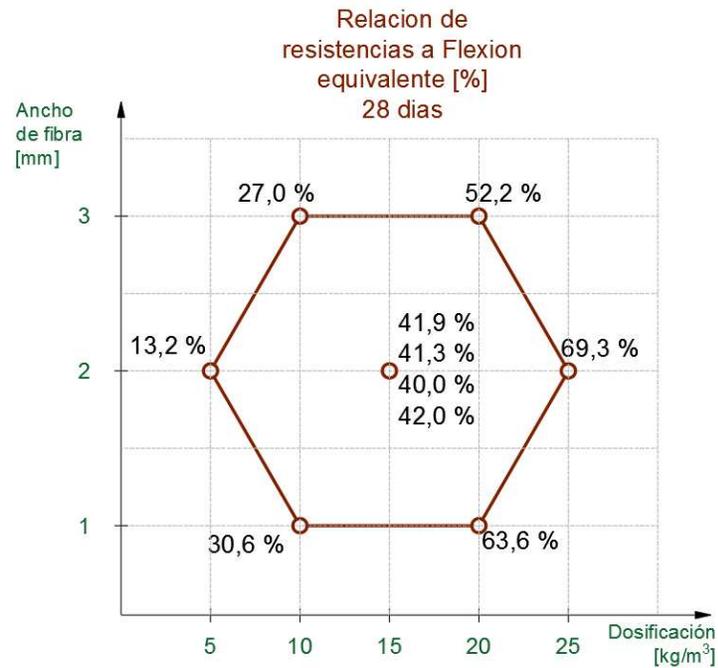
Factor 2 (X_2): Ancho de fibras, que varía en tres niveles:

1 mm, 2 mm, 3 mm

Variable de control (Y): Relación de Resistencia a la Flexión Equivalente [%], a los 28 días de edad.

En el siguiente grafico se muestra los resultados de todo lo expuesto:

Figura 4.8 Esquema del Relación de Resistencia a la Flexión Equivalente [%]



El cálculo de estos valores de porcentaje de resistencias residuales se detalla en la tabla 4.3

El anexo 4 detalla el cálculo de las ecuaciones que relacionan las dos variables independientes que son la cantidad de fibras y el ancho de fibras con la variable independiente o variable de respuesta que es la relación de resistencias a la flexión equivalente

Ecuación general del modelo

$$Y = 41,3 + 28,4x_1 - 4,3x_2 + 0,05x_1^2 + 2,75x_2^2 - 4,50x_1x_2$$

La ecuación es válida, se usó el criterio de Fisher para evaluar la calidad del modelo.

Criterio de Fisher:

$$F_c = 0,64$$

Factor de Fisher de tablas:

$$F_t = 8,94$$

$$0,64 < 8,94 \quad ; \quad \text{Cumple}$$

Si $F_c < F_t$, el modelo es adecuado

Las ecuaciones para cada ancho de fibra

Para los siguientes valores tenemos:

$$X_2 = -0,87 \quad Y = 47,113 + 32,300X_1 + 0,050X_1^2$$

$$X_2 = 0 \quad Y = 41,300 + 28,400X_1 + 0,050X_1^2$$

$$X_2 = +0,87 \quad Y = 39,613 + 24,500X_1 + 0,050X_1^2$$

Con estas ecuaciones se obtuvieron las relaciones de resistencia a la flexión equivalente calculados en la siguiente tabla:

Tabla 4.4 *Tabla de valores de la Relación de resistencias a la flexión equivalente*

Dosif. [kg/m ³]	Relación de Resistencia a la Flexión Equivalente [%]			
	X	1 [mm]	2 [mm]	3 [mm]
5	-1,00	14,8	12,9	15,1
10	-0,50	31,0	27,1	27,4
15	0,00	47,1	41,3	39,6
20	0,50	63,3	55,5	51,9
25	1,00	79,4	69,7	64,1

Con base a la tabla que muestra valores calculados de la capacidad residual en [%] se determinaron por un proceso de regresión las ecuaciones de comportamiento de la resistencia en función a la cantidad de fibras añadidas por cada ancho de fibra.

Para 1 mm:

$$Y = 0,0005 + 3,25X_1 - 1,45X_1^2$$

Para 2 mm:

$$Y = 0,0005 + 2,86X_1 - 1,41X_1^2$$

Para 3 mm:

$$Y = 0,001 + 2,47X_1 + 2,75X_1^2$$

A partir de las ecuaciones encontradas con la regresión, graficamos:

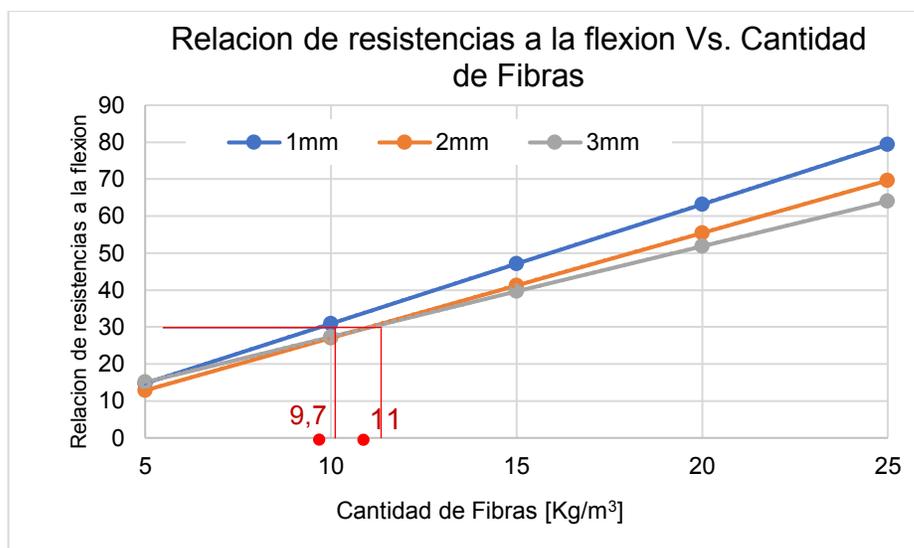


Figura 4.9 Relación de resistencias a flexión vs cantidad de fibras

Según la Norma ASTM C1609/1609M-10, que menciona al informe técnico de N° 34 de la sociedad del concreto establece el valor de la relación de resistencias a flexión entre el 30% al 35% aproximadamente

Cabe mencionar que la EHE-08, anejo 14 que para que las fibras puedan ser consideradas con función estructural la resistencia característica residual en FR3 no será menor al 20% de la carga máxima.

Considerando las normas anteriormente mencionadas, para esta investigación se adoptó una relación de resistencias a la flexión de un 30%, que está dentro del rango establecido en la ASTM 1609 y que es mayor a lo que establece la EHE-08 anejo 14.

Con este valor del 30%, de la figura 4.9, se tiene que:

Para fibras de 1 mm, la dosificación será de: 9,7 [kg/m³]

Para fibras de 2 mm, la dosificación será de: 11,0 [kg/m³]

Para fibras de 3 mm, la dosificación será de: 11,1 [kg/m³]

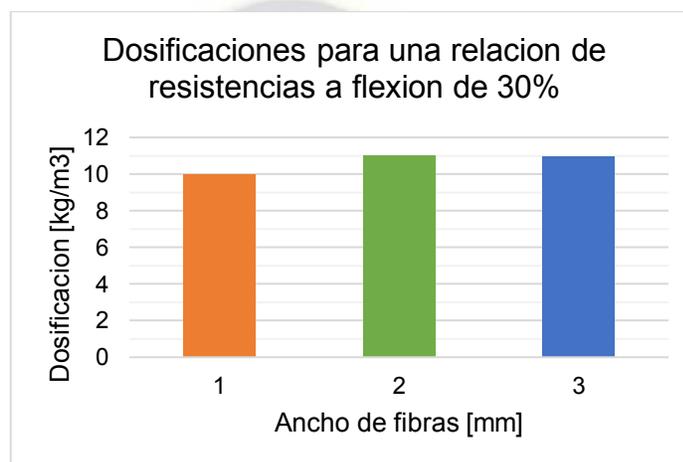
Se adoptarán valores de dosificación de:

Tabla 4.5 Dosificaciones adoptadas

Ancho de Fibras [mm]	Dosificación [kg/m ³]
1 mm	10
2 mm	11
3 mm	11

El siguiente grafico muestra los valores mostrados en la tabla anterior.

Figura 4.10 Dosificación para cada ancho de fibras correspondiente a un 30% de relación de resistencias a flexión



Según la gráfica mostrada, para obtener un hormigón reforzado con macrofibras PET que cumplan una relación de resistencias a flexión equivalente del 30% a la edad de 28 días, se requiere una dosificación de 10 kg/m³ de fibras con un ancho de 1 mm, y de 11 kg/m³ para fibras de 2 y 3 mm.

Segundo hexágono

Para verificar los resultados obtenidos en el primer hexágono se realizaron réplicas de las dosificaciones establecidas.

A través del modelo del hexágono para los resultados de las réplicas se determinó dosificaciones óptimas de 9,5 kg/m³, 10 kg/m³ y 10 kg/m³ para fibras de 1 mm, 2 mm y 3 mm respectivamente.

4.4. Ensayos para las dosificaciones adoptadas

En el apartado 4.3 a través del método del hexágono se determinó las dosificaciones que permiten obtener una relación de resistencias a flexión del 30% (determinada según normas ASTM C1609 y EHE-08 Anejo 14). Con los valores adoptados se ejecutarán ensayos complementarios para determinar características propias de hormigones fibroreforzado como la fisuración, resistencia a impacto y resistencia a ciclos de hielo deshielo.

4.5. Ensayos en hormigón fresco

Ejecutados los ensayos se obtuvieron los siguientes resultados en hormigón fresco:

Tabla 4.6 Propiedades del Hormigón fresco

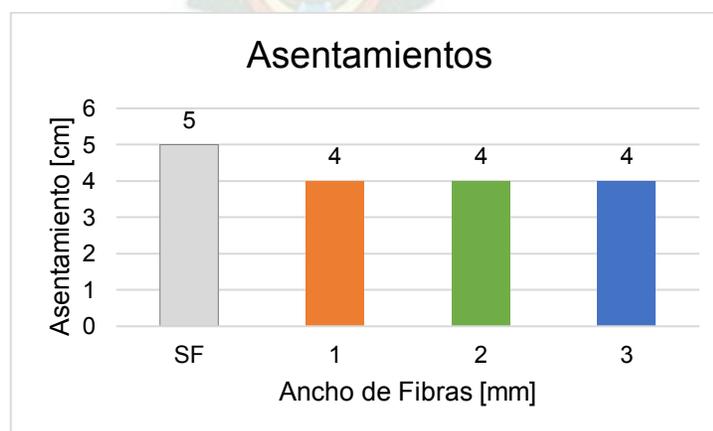
Dosificación	Fibras		Asentamiento Cono [cm]	Peso Unitario H° Fresco [kg/m ³]	Aire Atrapado %
	Cantidad [kg/m ³]	Espesor [mm]			
0	0	0	5	2259	0,29
1	10	1	4	2241	1,08
2	11	2	4	2240	1,13
3	11	3	4	2241	1,08

Los valores expresados en la tabla 4.5 fueron extraídos del anexo 5 (Planillas 1,3,5 y 7)

4.5.1 Asentamiento cono de Abrams

Para el ensayo de asentamiento de cono de Abrams, las tres dosificaciones dieron como resultado un asentamiento de 4 cm, sufriendo una reducción respecto de la dosificación patrón o sin fibras de un centímetro.

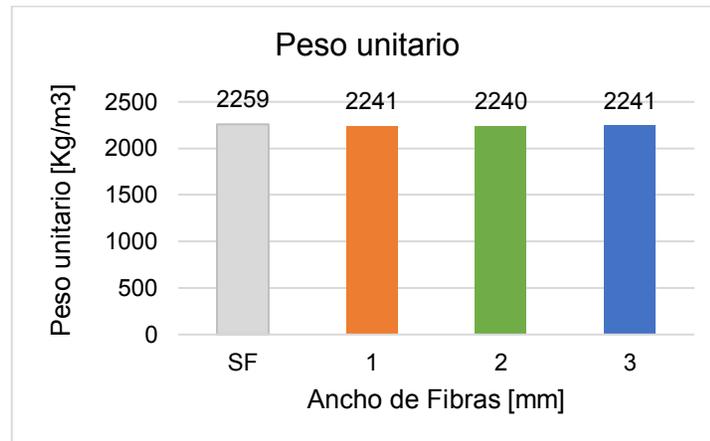
Figura 4.11 Resultados de asentamientos obtenidos para cada dosificación



4.5.2 Peso unitario

De la Figura 4.12 podemos notar que se presenta una disminución en el peso unitario del hormigón al incorporar las fibras, sin embargo, esta disminución no es significativa ya que representa tan solo una variación de menos del 1%.

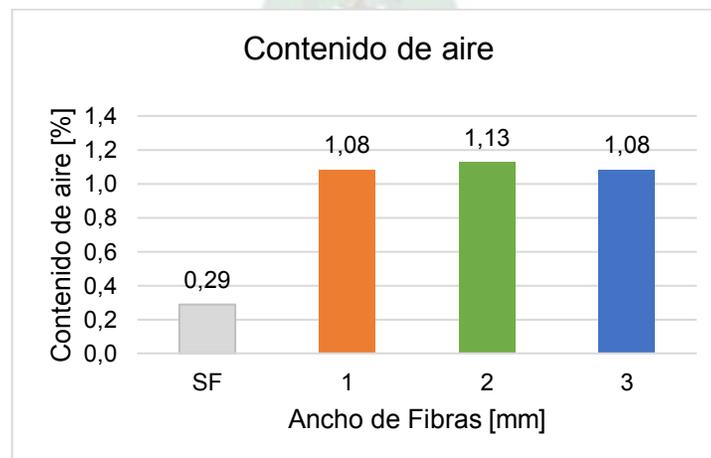
Figura 4.12 Pesos unitarios por dosificación



4.5.3 Contenido de aire

Como se aprecia en la Figura 4.13, para las tres dosificaciones adoptadas, los contenidos de aire no presentan diferencias significativas, notándose también un incremento del contenido de aire menor al 1% respecto del hormigón sin fibras

Figura 4.13 Esquema de contenidos de aire por dosificación



4.6. Ensayos en hormigón endurecido

4.6.1 Resistencia a compresión

A continuación, se muestra la tabla 4.7 con las resistencias a compresión a los 7 y 28 días:

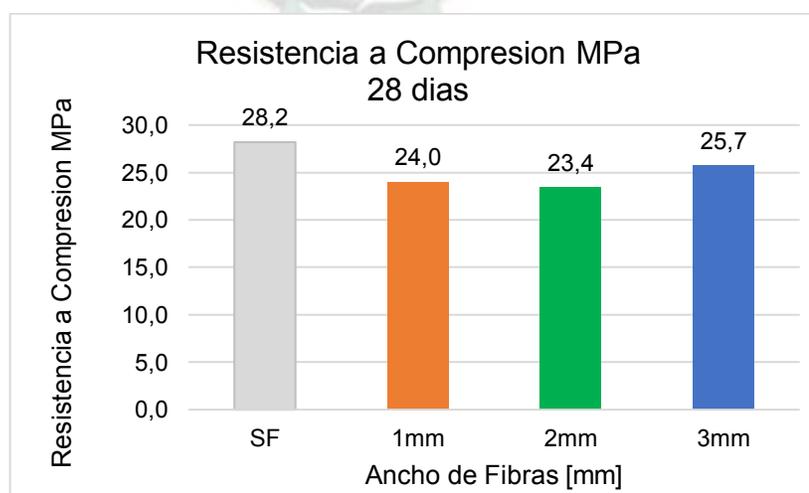
Tabla 4.7 Resistencias medias a compresión

Nº	DESCRIP.	CARGA [KN]	EDAD [días]	RESIST. [MPa]	PROM. [MPa]	% REDUCC.
0	Sin Fibras	170,9	7	20,7	21,5	0,0
		183,3	7	22,4		
		235,2	28	27,1	28,2	0,0
		241,4	28	29,3		
1	1 mm - 10 [kg/m ³]	144,3	7	17,5	17,6	18,2
		153,1	7	17,7		
		182,4	28	22,4	24,0	15,0
		208,3	28	25,6		
2	2 mm - 11 [kg/m ³]	166,8	7	19,0	19,2	11,0
		158,2	7	19,3		
		189,3	28	22,8	23,4	16,9
		195,9	28	24,0		
3	3 mm - 11 [kg/m ³]	144,3	7	17,7	18,5	14,2
		159,8	7	19,2		
		199,0	28	24,4	25,7	8,8
		221,5	28	27,0		

Los valores expresados en la tabla fueron extraídos del anexo 5 (planilla 9)

a) Resistencia a compresión a 28 días

Figura 4.14 Resistencias a compresión a 28 días



La figura 4.14 muestra los resultados obtenidos de resistencias a compresión para cada dosificación óptima correspondiente a cada ancho de fibra, podemos observar que las fibras de 3mm presentan una menor reducción de resistencia a compresión (8,8%) en comparación con las dosificaciones de 1 mm y 2 mm (14,99% y 16,94% respectivamente).

4.6.2 Resistencia a Flexión

En la tabla 4.8 se presenta los resultados de resistencias a flexión a 7 y 28 días:

Tabla 4.8 Resistencias medias a flexión

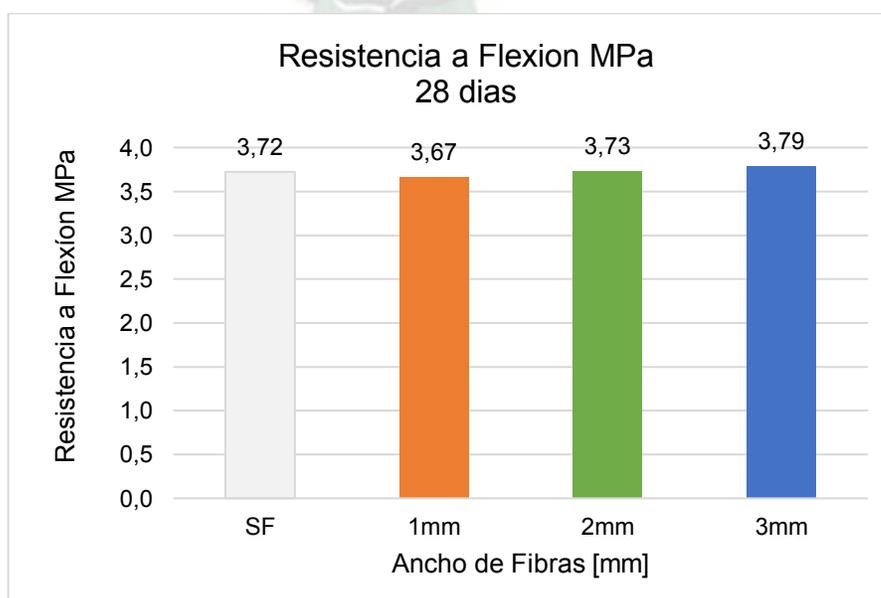
DOSIF.	Descripción	Módulo de Rotura						Incremento [%]
		7 días			28 días			
		f_P MPa	f_{D150} MPa	R_{T150}^D	f_P MPa	f_{D150} MPa	R_{T150}^D	
0	Sin Fibras	2,9			3,72			
1	1 mm	3,2	1,2	36,4	3,67	1,4	37,1	-1,6
2	2 mm	3,1	1,3	41,7	3,73	1,3	34,5	0,2
3	3 mm	3,1	1,2	37,8	3,79	1,4	35,9	1,7

Nota: Los valores mostrados en la tabla 4.7 fueron extraídos del anexo 5 (planillas 9 al 21)

a) Incremento de resistencias a flexión

De la tabla 4.8 se puede observar que las resistencias no obedecen a un comportamiento definido en incrementos y decrementos.

Figura 4.15 Resistencias a Flexión a 28 días

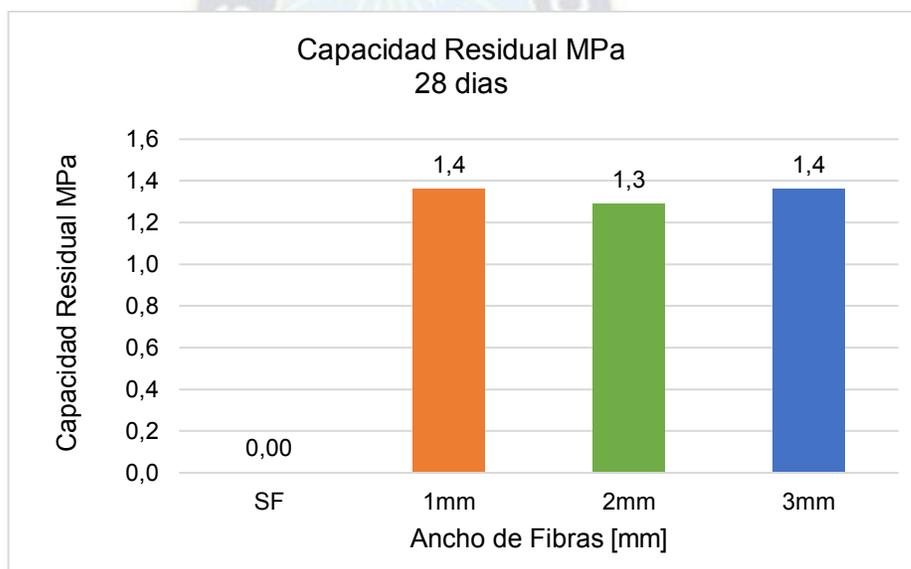


Como se menciona en la norma ACI 544.3R, en general, la adición de fibras no disminuye ni aumenta significativamente la resistencia a la flexión a los 28 días. Así también se cumple lo que establece la norma ACI 544.3R que el módulo de rotura a flexión de un pavimento debe estar entre 3,4 a 5,5 MPa.

b) Capacidad residual

La capacidad residual para las dosificaciones con las cantidades óptimas de fibras, tiene valores muy similares y cumplen con lo establecido Según la Norma ASTM C1609/1609M-10, que menciona al informe técnico de N° 34 de la sociedad del concreto, que establece que la capacidad residual debe ser mayor a 1 N/mm².

Figura 4.16 Capacidad residual a los 28 días



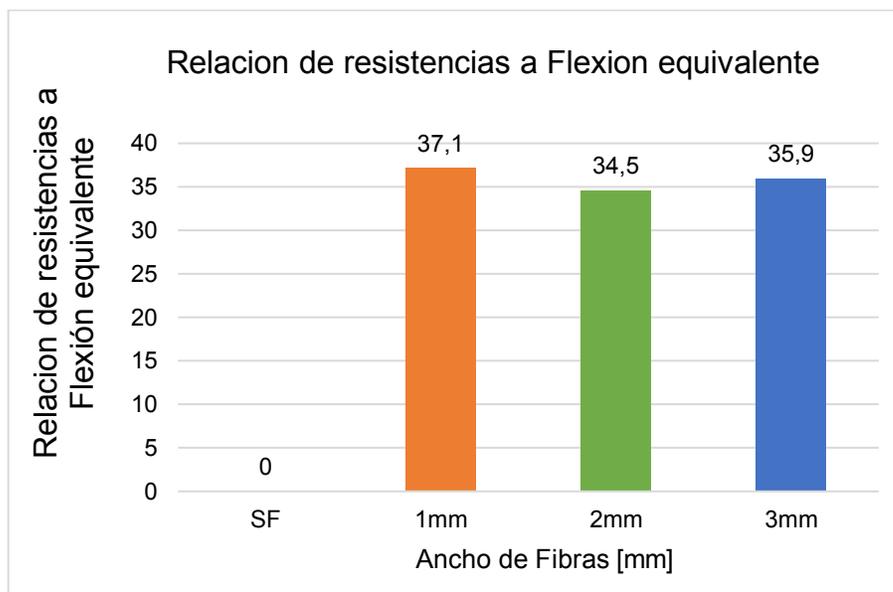
c) Relación de resistencias a flexión equivalente

En la Figura 4.17 se ilustran los valores de la relación de resistencias a flexión equivalente, a priori se puede destacar que no existe esta propiedad en un hormigón sin fibras.

En el caso de las fibras con un ancho de 1 mm, se alcanza una relación de resistencias a flexión equivalente de 37,11%, ligeramente superior a las de 2 mm y 3 mm con 34,54% y 35,90% respectivamente, estos valores son mayores a nuestro parámetro del 30%, por lo

tanto, se cumplen los criterios empleados para la elección del porcentaje de las dosificaciones, que en nuestro caso son del 10% para fibras de 1 mm y 11% para fibras de 2 mm y 3 mm.

Figura 4.17 Relación de resistencias a flexión equivalente.



4.6.3 Tracción indirecta

Tabla 4.9 Tracción Indirecta.

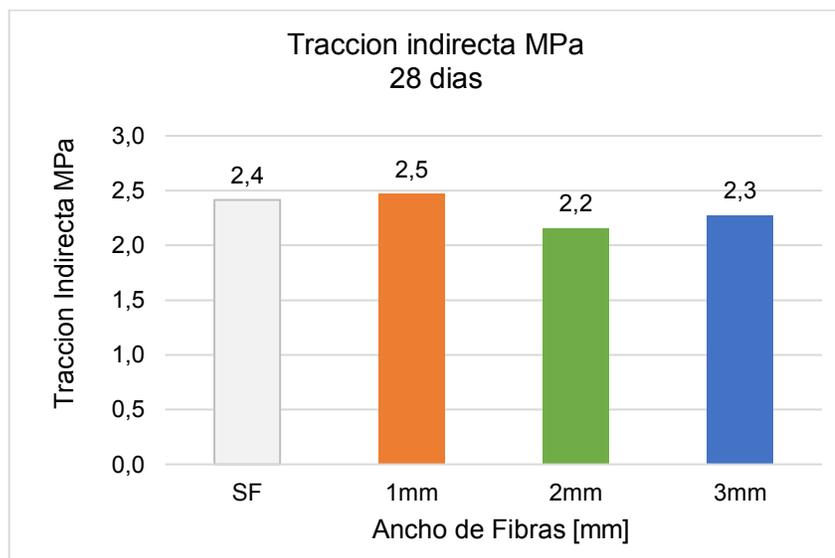
CÓDIGO	CARGA [KN]	EDAD [Días]	RESIST. MPa	PROM.
Sin Fibras	64,2	7	1,7	1,7
	65,1	7	1,7	
	94,1	28	2,5	2,4
	87,7	28	2,3	
1mm - 10 [kg/m3]	56,2	7	1,5	1,6
	60,5	7	1,6	
	103,5	28	2,8	2,5
	82,8	28	2,2	
2mm - 11 [kg/m3]	59,6	7	1,6	1,6
	62,3	7	1,6	
	80,8	28	2,2	2,2
	79,4	28	2,1	
3mm - 11 [kg/m3]	81,9	7	2,1	1,9
	67,4	7	1,8	
	84,1	28	2,2	2,3
	87,7	28	2,3	

Nota: Los valores mostrados en la tabla 4.8 fueron extraídos del anexo 5 (planillas 2,4,6 y 8)

La figura 4.18 muestra los resultados del ensayo a tracción indirecta, el hormigón con fibras de 1 mm mantiene valores similares a los obtenidos en el hormigón sin fibras, para 2

mm se presenta una reducción de la resistencia de un 10,7%, y para 3 mm una reducción del 5,75%.

Figura 4.18 Tracción Indirecta a la edad de 28 días



4.6.4 Fisuración

La tabla 4.10 muestra los anchos mínimo y máximo de fisuras que se presentan en el ensayo de fisuración, así como la suma de longitudes de las fisuras para cada muestra.

Tabla 4.10 Ensayo de fisuración

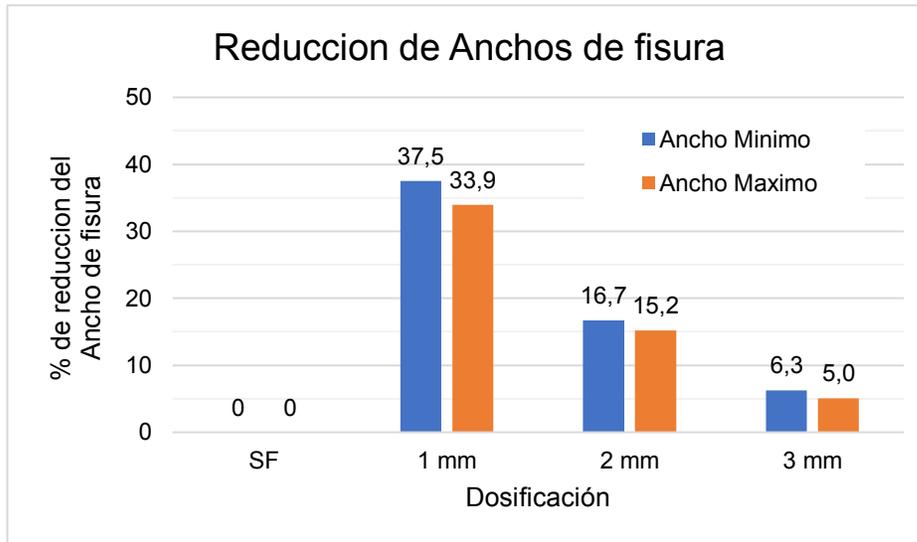
DESCRIP.	ANCHO DE FISURA			SUMA LONG. [mm]	%REDUCCIÓN		
	MIN.	MAX	PROM		MIN	MAX	LONG
Sin Fibras	0,032	0,18	0,07	124,00	-	-	-
1mm - 10 [kg/m ³]	0,020	0,12	0,058	77,86	37,5	33,9	37,21
2mm - 11 [kg/m ³]	0,027	0,15	0,066	76,90	16,7	15,2	37,98
3mm - 11 [kg/m ³]	0,030	0,17	0,071	58,60	6,3	5,0	52,74

Nota: Los valores mostrados en la tabla 4.9 fueron extraídos del anexo 5 (planillas 2,4,6 y 8)

a) Ancho de fisuras

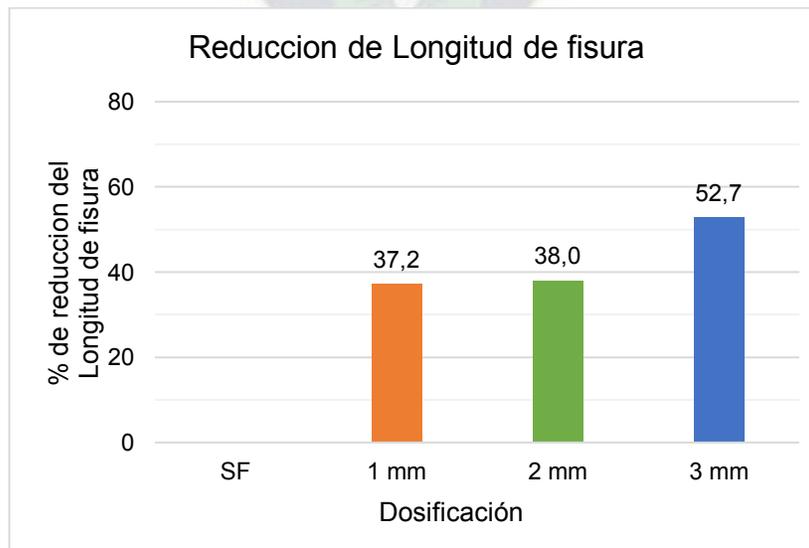
La figura 4.19 representa el porcentaje de reducción de los anchos mínimo y máximo de las fisuras de las dosificaciones con fibras respecto de la dosificación sin fibras. De ahí que, existe mayor reducción de los anchos de fisura mientras menor sea el ancho de fibra.

Reducción de anchos de fisura

**b) Longitud de fisuras**

En la figura 4.20 se ve representada la reducción de longitud de fisura en porcentajes para cada una de las dosificaciones con la incorporación de fibras respecto al hormigón sin fibras, observándose un mejor comportamiento en las fibras de 3 mm con una reducción de un 52.74%.

Figura 4.19 Reducción de longitudes de fisura



4.6.5 Impacto

La tabla 4.11 resume el número de impactos que provocan la primera fisura y el número de impactos para causar la rotura de las muestras a 7 y 28 días, así como los porcentajes de incremento de la resistencia al impacto al añadir fibras respecto al hormigón tradicional.

Tabla 4.11 Ensayo de Impacto

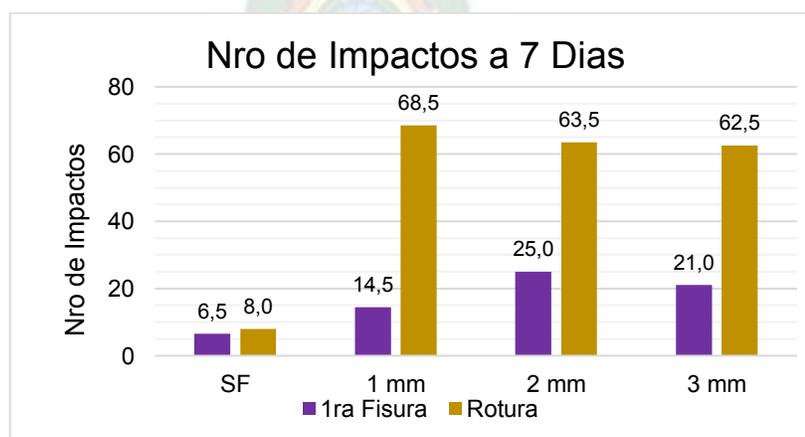
DESCRIP.	IMPACTO-7 días		IMPACTO-28 días		% INCREMENTO			
					IMPACTO-7 días		IMPACTO-28 días	
	1ra Fisura	Rotura	1ra Fisura	Rotura	1ra Fisura	Rotura	1ra Fisura	Rotura
Sin Fibras	6,5	8,0	67,0	68,5	-	-	-	-
1mm - 10 [kg/m ³]	14,5	68,5	71,0	132,0	123,1	756,3	6,0	92,7
2mm - 11 [kg/m ³]	25,0	63,5	72,5	119,0	284,6	693,8	8,2	73,7
3mm - 11 [kg/m ³]	21,0	62,5	71,0	101,0	223,1	681,3	6,0	47,4

Nota: Los valores mostrados en la tabla 4.10 fueron extraídos del anexo 5 (planillas 2,4,6 y 8)

a) Resistencia al impacto a los 7 días

El número de golpes requeridos para causar la primera fisura como también la rotura en los hormigones reforzado con fibras es mayor que el número de golpes que se requieren en un hormigón sin fibras (SF) como se muestra en la figura 4.21. Estos incrementos de la resistencia a la rotura alcanzan valores de 756,3%, 693,8% y 681,3% para los hormigones con fibras de 1 mm, 2 mm y 3 mm respectivamente que representa aproximadamente 7 veces más que un hormigón sin fibras.

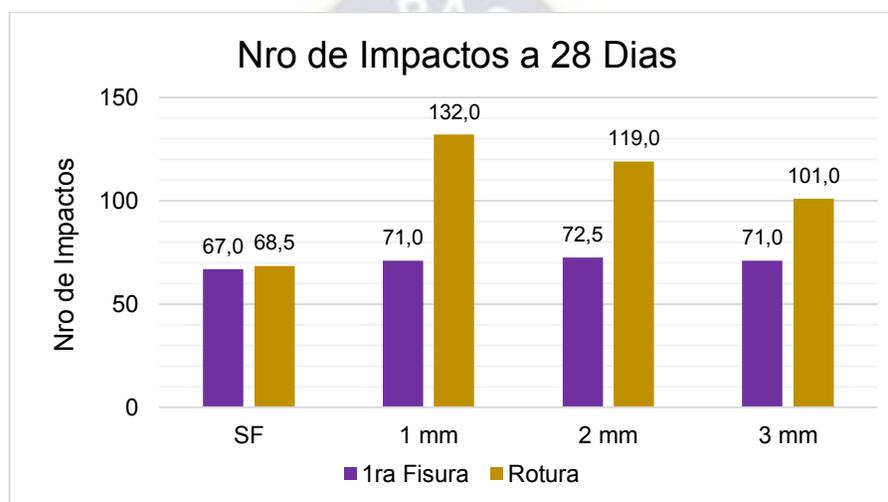
Figura 4.20 ensayo de impactos a los 7 días



b) Resistencia al impacto a los 28 días

La variabilidad encontrada en los resultados del número de golpes para provocar la primera fisura es muy baja, es decir se obtuvieron valores similares para todos los casos. En cuanto al comportamiento en la rotura el hormigón con fibras existe diferencia significativa respecto del hormigón tradicional, observándose incrementos de 92,7%, 73,7% y 47,4% para fibras de 1 mm, 2 mm y 3 mm respectivamente como se observa en la figura 4.22

Figura 4.21 ensayo de impactos a los 28 días



4.6.6 Hielo deshielo

La tabla 4.12 registra los módulos de rotura después de la acción de ciclos de congelamiento y descongelamiento (CCD) a la edad de 28 días y la comparación respecto al módulo de rotura a flexión en condiciones normales.

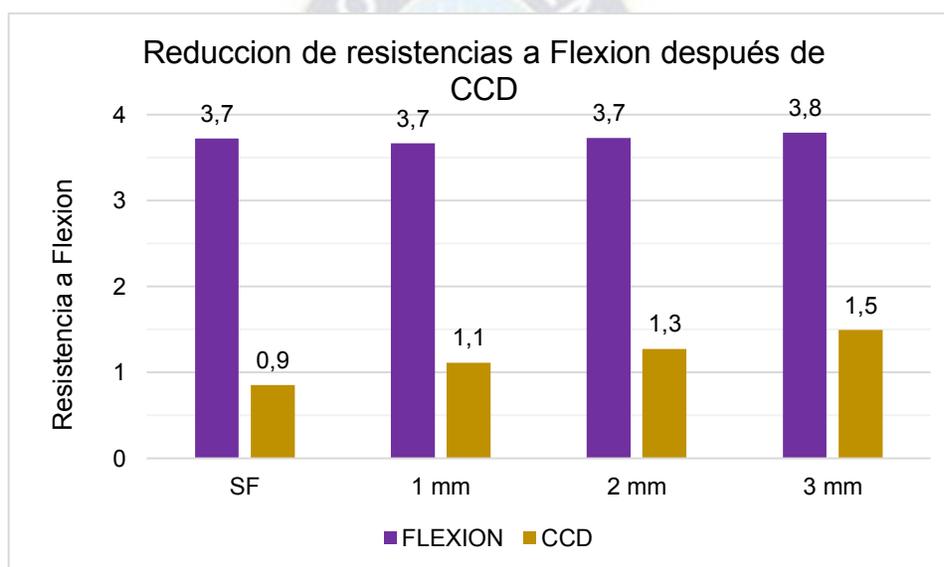
Tabla 4.12 Ensayo de Flexión ciclos de hielo y deshielo

Descripción	Módulo de Rotura Flexión 28 días		Módulo de Rotura CCD 28 días		%CCD respecto Flexión 28 días	
	f _P MPa	f _P MPa	f _P [%]	f _P [%]	f _P [%]	f _{D150} [%]
Sin Fibras	3,7		0,9		22,9	
1 mm	3,7	1,4	1,1	0,8	30,4	61,1
2 mm	3,7	1,3	1,3	1,0	34,2	79,9
3 mm	3,8	1,4	1,5	0,9	39,4	68,7

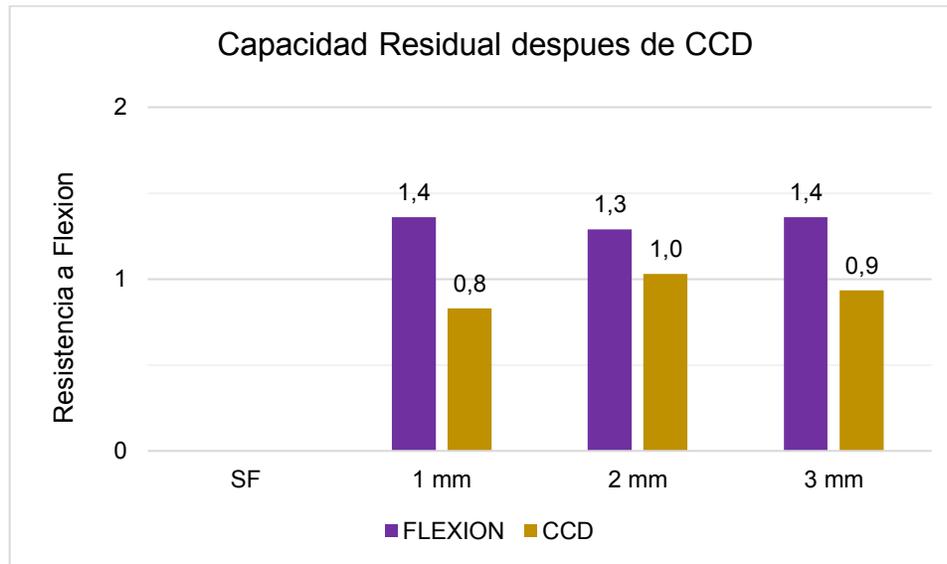
Nota: Los valores mostrados en la tabla 4.12 fueron extraídos del anexo 5 (planillas 2,4,6 y 8)

Las muestras sometidas a ciclos de congelamiento y descongelamiento sufren una reducción considerable en cuanto a resistencias a Flexión, el hormigón sin fibras en estas condiciones alcanza un módulo rotura de 0,9 MPa, lo que significa un 22,0% del valor a flexión en condiciones normales, del mismo modo las muestra con fibras de 1 mm, 2 mm y 3 mm tienen un rendimiento de 30,4%, 34,2% y 39,4% respectivamente. Se evidencia que la incorporación de fibras atenúa el efecto negativo causado por los CCD, en el caso más favorable las fibras de 3 mm tienen un rendimiento de 16,5% más que la muestra sin fibras.

Figura 4.22 Comparación de módulos de rotura a flexión de muestras con y sin CCD



En cuanto a las resistencias residuales de las muestras sometidas a los CCD se vio que también sufren una reducción, sin embargo, éstas tienen mejores rendimientos, con valores de: 61,1%, 79,9% y 68,7% para fibras de 1 mm, 2 mm y 3 mm respectivamente.

Figura 4.23 Comparación de capacidad residual a flexión de muestras con y sin CCD

4.7. Aplicaciones del FRC en pavimentos

Las macrofibras en pisos y pavimentos previenen la aparición de las fisuras a larga edad, si la fisura tiene lugar impide el incremento del ancho de la misma, pero más importante aún permiten que la estructura continúe en servicio al aumentar la tenacidad este hecho multiplica la vida útil de la estructura

El beneficio de los hormigones reforzados con fibras en todas las metodologías de diseño de pavimentos, está en la actualización del módulo de rotura (MOR) por una resistencia a flexión efectiva F_{eff} que implica el efecto de las fibras en la capacidad a flexión: (Roesler, Bordelon, Brand, & Amirghanian, 2019)

$$F_{eff} = MOR + f_{150}$$

Donde:

F_{eff} : Flexion efectiva

MOR : Modulo de rotura

f_{150} : Capacidad Residual

Para comparar los espesores de losas se empleó el método AASTHO. Los datos utilizados para el diseño se tomaron del proyecto caminero entre Villamontes y La Vertiente, que tiene una longitud de 20 Km y ancho de calzada de 7.3 m, datos correspondientes al proyecto de grado N. Blacud (2002).

La siguiente expresión permite el cálculo del espesor de losa:

$$\log W_{18} = Z_r \times S_o + 7.35 \times \log(D + 1) - 0.06 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5}\right)}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32p_t) \log \left[\frac{S'_c \times Cd(D^{0.75} - 1.132)}{215.63J \left(D^{0.75} - \frac{18.42}{(Ec/k)^{0.25}} \right)} \right]$$

Siendo W_{18} el número de cargas de 18 kips (80kN) previstas, Z_r la abscisa correspondiente a un área igual a la confiabilidad R en una curva de distribución normalizada, S_o la desviación estándar de todas las variables, D el espesor de la losa (pulg) p_o la serviciabilidad inicial, p_t la serviciabilidad final, ΔPSI la pérdida de serviciabilidad, S'_c el módulo de rotura del hormigón (lb/pulg²), J el coeficiente de transferencia de cargas, Cd el coeficiente de drenaje, Ec el módulo de elasticidad del hormigón (lb/pulg²) y K el módulo de reacción de la subrasante (lb/pulg³).

Para calcular el espesor de la losa, D se utilizaron los siguientes datos:

$W_{18} = 3441029$ ESALs; $R = 80 \%$; $Z_r = 0,84$; $S_o = 0,35$; $p_o = 4,5$; $p_t = 2$; $\Delta PSI = 2,5$; $J = 3,2$; $Cd = 1$ y $K = 100$ lb/pulg³.

La tabla 4.13 presenta los valores del módulo de rotura del hormigón (S'_c) y de módulo de elasticidad del hormigón (E_c), utilizados para calcular el espesor de la losa para cada tipo de hormigón

Tabla 4.13 Cálculo del espesor de losa

Tipo de Fibra	Módulo de rotura S'_c [psi]	Módulo de elasticidad E_c	Espesor de losa [in]	cm
SF	537 (3,7 MPa)	3,56E+06	8,75	23
1 mm	537 (3,7 MPa)+197(1,36 MPa)	3,24E+06	7,26	19
2 mm	537 (3,7 MPa)+187(1,29 MPa)	3,20E+06	7,31	19

3 mm	551 (3,8 MPa)	197(1,36 MPa)	3,35E+06	7,19	19
------	---------------	---------------	----------	------	----

Para el cálculo de los espesores de losa se utilizó el programa pavimR para diseño de pavimentos rígidos y flexibles por el método AASHTO-93. A continuación se muestra los cálculos a través del programa:

Figura 4.24 Cálculo del espesor de losa para un hormigón sin fibras

The screenshot shows the 'pavimR (Para diseñar Pavimentos) - [Diseñ...]' window. The 'Ecuación AASHTC' section contains the following input fields:

- Serviciabilidad Inicial y Final: PSI Inicie 4,5, PSI Final 2
- Confiableabilidad [Zr] y Desviación Estandar: Zr: -0.841, So: 0.35
- Información Adicional: Módulo de Elasticidad del Concreto Ec: 3560000, Coeficiente de Transmisión de Carζ: 3.2, Módulo de Rotura de Concreto Sc: 537, Coeficiente de Drenaje [r]: 1
- Selección de datos: 'Eje W18' is selected with W18: 3441029
- Módulo de Reacción de la Subrasante: K: 100 pci

The 'Resultado' section shows: D: 8.75409 plg. A legend at the bottom right defines the units: pci = Libras /pulgadas^3 [lb/plg], psi = Libras /pulgadas^2 [lb/plg], plg = Pulgadas. At the bottom are buttons for 'Calcular', 'Insertar', and 'Limpiar'.

Figura 4.25 Cálculo del espesor de losa para un hormigón con fibras de 1 mm

Ecución AASHTC

Serviciabilidad Inicial y Final Confiabilidad [Zr] y Desviación Estandar

PSI Inicie 4.5 Zr: -0.841

PSI Final 2 So: 0.35

Información Adicional

Módulo de Elasticidad del Concreto Ec 3240000

Coefficiente de Transmisión de Carç 3.2

Módulo de Rotura de Concreto Sc 734

Coefficiente de Drenaje [r 1

Seleccionar dato que tiene

Espesor D Eje W18

W18: 3441029

Módulo de Reacción de la Subrasante

K: 100 pci

Resultado

D: 7.25612 plg

pci= Libras /pulgadas³ [lb/plg
psi= Libras /pulgadas² [lb/plg
plg= Pulgadas

Calcular Insertar Limpiar

Figura 4.26 Cálculo del espesor de losa para un hormigón con fibras de 2 mm

Ecución AASHTC

Serviciabilidad Inicial y Final Confiabilidad [Zr] y Desviación Estandar

PSI Inicie 4.5 Zr: -0.841

PSI Final 2 So: 0.35

Información Adicional

Módulo de Elasticidad del Concreto Ec 3200000

Coefficiente de Transmisión de Carç 3.2

Módulo de Rotura de Concreto Sc 724

Coefficiente de Drenaje [r 1

Seleccionar dato que tiene

Espesor D Eje W18

W18: 3441029

Módulo de Reacción de la Subrasante

K: 100 pci

Resultado

D: 7.31015 plg

pci= Libras /pulgadas³ [lb/plg
psi= Libras /pulgadas² [lb/plg
plg= Pulgadas

Calcular Insertar Limpiar

Figura 4.27 Cálculo del espesor de losa para un hormigón con fibras de 3 mm

En la tabla 4.14 se presentan los espesores de losa calculados para cada tipo de fibra, se ve una reducción del espesor de la losa de 22 cm para un hormigón sin fibra a 19 cm al añadir las fibras PET. Del mismo modo se compara los costos del proyecto para la losa de hormigón sin fibras y con fibras.

Tabla 4.14 Comparación de costos de losa con y sin fibras PET

Tipo de Fibra	Espesor de losa cm	volumen de H° m ³	PU H° Kg/m ³	costo del H° [Bs]	Diferencia [Bs]	Diferencia [%]
SF	23	3358	1.392,3	4.675.478	0	0
1 mm	19	2774	2.027,4	5.623.952	-948.474	20,3
2 mm	19	2774	1.916,3	5.315.678	-640.200	13,7
3 mm	19	2774	1.741,6	4.831.226	-155.748	3,3
SIKA FIBER	19	2774	1.831	5.080.054	-404.576	8,7

Nota: los valores de PU H° fueron extraídos de la tabla 5.5

De la tabla 4.14 podemos observar que al reducir el espesor de la losa se tiene una reducción del volumen de hormigón del 17% o 548 m³. También se puede observar que la adición de fibras representa un costo adicional del 3,3% para el caso mas favorable, con fibras de 3 mm. Si comparamos el costo de usar fibras SIKAFIBER ENDURO 600, el uso de fibras PET de 3 mm de ancho es un 5% menos en costos.

5. ANÁLISIS DE COSTOS



5. ANÁLISIS DE COSTOS

5.1. Costo de producción de 1m³ de hormigón fibroreforzado

Partimos de la cantidad de fibras que se requiere para producir 1 m³ de hormigón.

Tabla 5.1 Dosificaciones óptimas encontradas

Ancho de Fibras [mm]	Dosificación [kg/m ³]
1 mm	10
2 mm	11
3 mm	11

Se determinó los tiempos necesarios para cada actividad relacionada a la producción de fibras de una botella, las multiplicamos por la cantidad de botellas necesarias para un kilogramo de fibras, con el tiempo total real requerido se calculó el costo de producción de un kilogramo de fibras PET.

Tabla 5.2 Costo de producción para producir fibras de 1 mm de espesor para 1 m³ de hormigón

Elaboración de fibras: ancho = 1mm	tiempo / botella [h]	Nro botellas/kilo	tiempo por kilo
Fileteado	0,033	40,00	1,3
Conformación de manojos	0,033	40,00	1,3
Corte de fibras	0,033	40,00	1,3
tiempo de producción [hrs/kg]			4,0
mano de obra [Bs/hrs]			12,5
costo de producción [Bs]			50,0

Tabla 5.3 Costo de producción para producir fibras de 2 mm de espesor para 1 m³ de hormigón

Elaboración de fibras: ancho = 2 mm	tiempo / botella [h]	Nro botellas/kilo	tiempo por kilo
Fileteado	0,025	40,00	1,0
Conformación de manojos	0,025	40,00	1,0
Corte de fibras	0,025	40,00	1,0
tiempo de producción [hrs/kg]			3,0
mano de obra [Bs/hrs]			12,5
costo de producción [Bs]			37,5

Tabla 5.4 Costo de producción para producir fibras de 3 mm de espesor para 1 m³ de hormigón

Elaboración de fibras: ancho = 3 mm	tiempo / botella [h]	Nro botellas/kilo	tiempo por kilo
Fileteado	0,017	40,00	0,7
Conformación de manojos	0,017	40,00	0,7
Corte de fibras	0,017	40,00	0,7
tiempo de producción [hrs/kg]			2,0
mano de obra [Bs/hrs]			12,5
costo de producción [Bs]			25,0

Para la elaboración de las fibras PET de diferentes anchos, los tiempos fueron calculados a partir de la producción manual de una persona. Cada tipo de fibra demanda tiempos diferentes para su elaboración ya que cada una posee diferentes anchos, un ejemplo de ello son las fibras de 1 mm que demanda mayor cuidado por su delicadeza ya que esta más vulnerable a quebrarse lo que finalmente se reflejara en los costos de producción.

5.2. Precios unitarios

Después del cálculo del rendimiento, se calculó el precio unitario de producción de 1 m³ de hormigón para cada dosificación:

Tabla 5.5 Precios Unitarios para 1 m³ de hormigón

Descripción	Tipo de Fibra	Dosific. [kg/m ³]	Costo del Hormigón [Bs]	Costo de fibras [Bs]	Costo total [Bs]	Costo de Hormigón Con SIKAFIBER ENDURO 600	Diferencia [Bs]
H° Convencional	SF	0	1.392,34	0,0	1.392,34	-	-
	1 mm	10	1.392,34	635,0	2.027,38	1.831,31	-196,07
H° Fibroreforzado	2 mm	11	1.392,34	523,9	1.916,25	1.831,31	-84,94
	3 mm	11	1.392,34	349,3	1.741,61	1.831,31	89,70

Nota: Los valores mostrados en la tabla 5.5 fueron extraídos del anexo 6 (planillas 1 al 4)

La tabla 5.5 muestra una comparación de precios unitarios de producción del hormigón convencional con los fibroreforzados, se evidencia claramente que existe una diferencia

considerable por la adición de fibras, esto se debe a que la elaboración de fibras es manual y encarece los precios unitarios de producción.

Adicionalmente se realizó ejemplo comparativo con la utilización de fibras industriales SIKAFIBER enduro 600, que son macrofibras de refuerzo sintético disponibles en nuestro mercado, resultando que la adición de fibras de 3 mm es 5% menor costoso que la utilización de fibras industriales.

5.3. Elección de la mejor alternativa

La matriz de Leopold es un método fácil de implementar y aplicable a todo tipo de proyectos, sistematiza la relación entre las acciones ejecutadas y su efecto.

Para construir la matriz se colocan la parte superior las acciones a ejecutar y en el extremo izquierdo los factores afectados.

Para la evaluación se anota el valor de la magnitud de impacto seleccionado y debajo de la diagonal el valor de la importancia

Los valores de la magnitud de impacto de +1 a +10 si el impacto es positivo y de -1 a -10 si el impacto es negativo

La importancia del impacto siempre con valores positivos de +1 a +10

Se multiplicarán la magnitud por la importancia y ese será el valor del impacto por la acción concreta, se sumarán estos valores en horizontal y vertical. Finalmente, la suma los valores totales de todas las acciones y de los factores los cuales deben coincidir.

La tabla 5.6 presenta la elección del hormigón fibroreforzado con mejores propiedades.

La suma total determinará el orden los hormigones con fibras con mejores propiedades

Tabla 5.6 Tabla de decisiones (Matriz de Leopold)

Dosificación	PROPIEDADES DE HRF								TOTAL	Observación
	Trabajabilidad	Compresion	Flexion	Capacidad residual	Impacto	Fisuración	CCD	Costo		
Hormigon con fibras ancho = 1 mm	-3 8	-2 5	1 6	4 8	8 5	6 3	2 3	-4 9	32	3°
Hormigon con fibras ancho = 2 mm	-3 8	-2 5	1 6	4 8	7 5	5 3	2 3	-3 9	33	2°
Hormigon con fibras ancho = 3 mm	-3 8	-1 5	1 6	4 8	6 5	4 3	3 3	-2 9	42	1°
Impacto por propiedades	-72	-25	18	96	105	45	21	-81	107 107	

Según la tabla 4.13, el hormigón con fibras de 3 mm de ancho es la mejor elección considerando las propiedades evaluadas. Tomando como segunda y tercera mejor opción los hormigones reforzados con fibras de 2 y 1 mm respectivamente. Cabe mencionar que el costo es la propiedad con mayor importancia e influencia al momento de la toma de decisiones.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

Se cumplieron los objetivos planteados en este proyecto de investigación mediante la confección de 244 probetas para los diferentes ensayos en un periodo de 8 meses.

Se logró comparar las propiedades de un hormigón tradicional con otro reforzado con fibras obtenidas a partir de botellas PET mediante el análisis de los resultados de ensayos de compresión, flexión, tracción, fisuración, impacto y ciclos de congelamiento y descongelamiento.

Se elaboró una herramienta prototipo para el corte de macrofibras a partir del reciclaje de botellas PET.

Las fibras de 1 mm de ancho son más susceptibles a roturas por imperfecciones que presentaban las botellas PET. Estos problemas no se presentaron en la elaboración de fibras de 2 y 3 mm.

La incorporación de fibras en el hormigón dificulta el acabado de probetas por la aparición de fibras sobresalientes en la superficie a partir de los 10 kg/m³.

Primera etapa

La trabajabilidad se comporta inversamente proporcional a la cantidad de fibras PET incorporadas al hormigón.

El peso unitario del hormigón fibroreforzado disminuye mientras mayor sea la cantidad de fibras incorporadas, sin embargo, esas variaciones son menores del 1%.

La inclusión de fibras en la matriz del hormigón no influye significativamente en el contenido de aire en el hormigón.

A medida que se incrementa la cantidad de fibras en el hormigón, la resistencia a compresión a 28 días se reduce. Para el caso más desfavorable con una dosis de 20 kg/m³ de fibras de 1 mm, se tiene una reducción de la resistencia a compresión de 25,4 MPa a 21,3 MPa (16,5%)

Las resistencias a flexión no se ven afectadas por la incorporación de fibras en el hormigón, lo cual indica que esta propiedad depende básicamente de la matriz del hormigón.

La capacidad residual a la flexión del hormigón con fibras, adquiere valores más altos a medida que se incorpora mayor cantidad de fibras, esto representa una mayor vida útil para el pavimento.

Existe una mayor relación de resistencias a la flexión equivalente en la medida que mayor sea la dosificación de fibras, se obtiene resistencias que llegan hasta un 69,3% (2,3 MPa) de la resistencia pico (3,4 MPa) cuando se añade al hormigón fibras de 2 mm con 25 kg/m³.

Se adoptó una relación de resistencias a la flexión equivalente de un 30%, que está dentro del rango establecido en la ASTM 1609 (30-35%) y que es mayor a lo que establece la EHE-08 anejo 14 (20%).

Se hallaron las dosificaciones de fibras PET óptimas a través del método del hexágono. Para fibras de 1 mm una dosis de 10 kg/m³, para fibras de 2 mm una dosis de 11 kg/m³, para fibras de 3 mm una dosis de 11 kg/m³.

Segunda etapa

Para los hormigones con las dosis óptimas de fibras, el asentamiento sufre una reducción de 1cm respecto de la dosificación sin fibras.

Las resistencias a compresión presentan una reducción de 28,2 MPa a 24,0 MPa (15,0%) para fibras de 1 mm, de 28,2 MPa a 23,4 MPa (16,9%) para fibras de 2 mm y de 28,2 MPa a 25,7 MPa (8,8%) para fibras de 3 mm.

Las resistencias obtenidas en los ensayos a flexión presentan una variación que no supera el 2%, es decir las resistencias no se ven afectadas por el contenido y tipo de fibra.

La capacidad residual para las dosificaciones con las cantidades óptimas de fibras, tiene valores muy similares, cumplen con lo establecido Según la Norma ASTM C1609/1609M-

10, que menciona al informe técnico de N° 34 de la sociedad del concreto, que establece que la capacidad residual debe ser mayor a $1N/mm^2$.

La relación de resistencias a flexión equivalente es mayor al 30% para los tres casos 37,1%,34,5% y 35,9% para fibras de 1 mm, 2 mm y 3 mm respectivamente cumpliendo el criterio adoptado para la elección de las dosificaciones.

En los ensayos a tracción indirecta, el hormigón con fibras de 1 mm se incrementa en un 2,5%, para 2 mm se presenta una reducción de la resistencia de un 10,7%, y para 3mm una reducción del 5,75%.

En el ensayo de fisuración en un hormigón con fibras de 1 mm, se reduce el ancho máximo y mínimo de fisuras en un 37,5% y 33,9%; para 2 mm se reducen el ancho máximo y mínimo de fisuras en un 16,7% y 15,2%; para 3 mm se reducen el ancho máximo y mínimo de fisuras en un 6,3% y 5,0 %.

Las longitudes de fisuras para hormigones con fibras de 1 mm tienen una reducción del 37,21%; para fibras de 2 mm una reducción del 37,98% y para fibras de 3 mm una reducción del 52,74%.

Para el ensayo de impacto a 7 días la resistencia a la rotura incrementa en 756,3%, 693,8% y 681,3% para los hormigones con fibras de 1 mm, 2 mm y 3 mm respectivamente que representa aproximadamente 7 veces más que un hormigón sin fibras.

En el ensayo de impacto a los 28 días la variabilidad encontrada en los resultados del número de golpes para provocar la primera fisura es muy baja, es decir se obtuvieron valores similares para todos los casos. En cuanto al comportamiento en la rotura el hormigón con fibras existe un incremento de 92,7%, 73,7% y 47,4% para fibras de 1 mm, 2 mm y 3 mm respectivamente

Las muestras sometidas a ciclos de congelamiento y descongelamiento sufren una reducción considerable en cuanto a resistencias a Flexión, el hormigón sin fibras alcanza un módulo rotura de 0,85 MPa, lo que significa un 22,85% del valor a flexión en condiciones

normales, del mismo modo las muestra con fibras de 1 mm, 2 mm y 3 mm tienen un rendimiento de 30,42%, 34,17% y 39,40% respectivamente.

Se evidencia que la incorporación de fibras atenúa el efecto negativo causado por los CCD, en el caso más favorable las fibras de 3mm tienen un rendimiento de 16.55% más que la muestra sin fibras.

En cuanto a las resistencias residuales de las muestras sometidas a los CCD se vio que también sufren una reducción, sin embargo, éstas tienen mejores rendimientos, con valores de: 61,06%, 79,92% y 68,68% para fibras de 1 mm, 2 mm y 3 mm respectivamente

Para el ejemplo aplicativo, con las dosificaciones óptimas, comparando los espesores de losa calculados, se presenta una reducción del espesor de losa de 30 mm con respecto al hormigón sin fibras.

Se determinaron los costos de producción de los hormigones reforzados con fibras PET. Donde se aprecia aumentos considerables debido al tiempo de producción de fibras. En comparación a un hormigón convencional, se tiene un aumento de Bs 635 al añadir fibras de 1 mm de ancho, Bs 523,9 para fibras de 2 mm y 349,3 para fibras de 3 mm.

Un hormigón reforzado con fibras PET ofrece ventajas como el control de fisuración, mejora la durabilidad, redistribuyen la carga, cuando se tiene una grieta, las fibras evitan el desprendimiento manteniendo la integridad del hormigón, mejora la resistencia al impacto y la resistencia a ciclos de congelamiento y descongelamiento.

Analizadas todas las alternativas se determinó que las fibras PET con un ancho de 3 mm es la mejor opción por sus propiedades y costos de producción.

6.2. Recomendaciones

Se recomienda el uso de fibras PET en el hormigón ya que estas otorgan mejoras en sus propiedades mecánicas

Para hormigones reforzados con fibras de botellas PET se recomienda el empleo de las fibras con anchos de 2 mm y 3 mm por su mayor facilidad de elaboración.

Durante la adición de las fibras en la hormigonera se recomienda tener el cuidado con la pérdida del material ya sea por la acción del viento o por una mala manipulación del mismo.

El tiempo de mezclado del hormigón con fibras en una hormigonera es el mismo que se emplea en un hormigón sin refuerzo.

Adoptar consistencias fluidas mayores a 9 para hormigones reforzados con fibras para facilitar la trabajabilidad

Dejar abierta la posibilidad de que en estudios posteriores se aborde las mediciones de consistencia del hormigón reforzado con fibras empleando métodos más adecuados como el cono invertido y/o el consistómetro VeBe.

Se recomienda no utilizar fibras en elementos estructurales que trabajen a compresión.

Para mejorar la resistencia a flexión de un hormigón fibroreforzado se recomienda mejorar la interacción fibra matriz a través de aditivos.

Se recomienda utilizar hormigones reforzados con fibras PET para elementos estructurales que requieran altas resistencias a la fatiga.

Si bien en el proyecto se encontraron valores óptimos, queda abierta la posibilidad de emplear dosificaciones más altas respondiendo a los requerimientos que se exijan en un proyecto sin dejar de lado aspectos como la trabajabilidad y el acabado.

Mantener el método de caída de peso empleado en este proyecto para la medición de la resistencia a impacto, por su fácil ejecución y la confiabilidad de resultados.

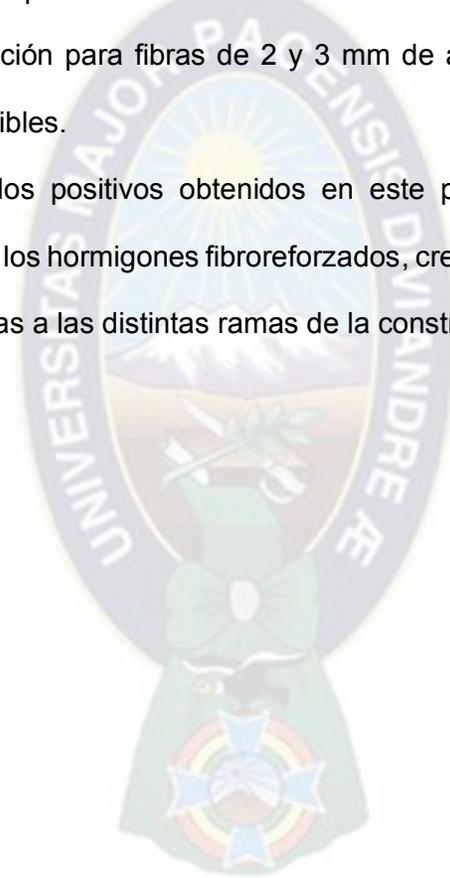
Contar con equipos que permita un mejor control de temperaturas para evitar tener diferentes condiciones durante ciclos.

Automatizar el proceso de elaboración de fibras a partir de las botellas PET, reduciendo así los costos de mano de obra, que solucionaría y haría factible el empleo de estas fibras en hormigones.

La adición de fibras a la hormigonera se efectúa después de haber introducido todos los materiales a la hormigonera.

Seleccionar las botellas con una estructura lisa y sin deformaciones para la elaboración de fibras de 1 mm de ancho para así evitar su rotura al momento del fileteado y aquellas con relieves y alguna imperfección para fibras de 2 y 3 mm de ancho, aprovechando de mejor manera las botellas disponibles.

Dados los resultados positivos obtenidos en este proyecto se recomienda poder profundizar en el campo de los hormigones fibroreforzados, creando una línea de investigación que permita aplicar las fibras a las distintas ramas de la construcción.



7. BIBLIOGRAFÍA

7. BIBLIOGRAFÍA

- ASTM C 995 –01. (2001). *Standard Test Method for Time of Flow of Fiber-Reinforced Concrete Through Inverted Slump Cone.*
- ASTM C143/C143M–10a. (2010). *Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete.*
- ASTM C172-04. (2004). *Standard Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete.*
- ACI 544.1R 96. (2002). *Report on Fiber Reinforced Concrete (Reapproved 2009).*
- ACI 544.2R-89. (1999). *Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concret.*
- Aire, C. (2011). *Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.* Obtenido de <http://www.imcyc.com/revistacyt/dic11/arttecnologia.html>
- ASTM A820/A820-16. (2001). *Standard Specification for Steel Fibers for Fiber-Reinforced Concrete.*
- ASTM C 31/C31M–08a. (2008). *Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field.*
- ASTM C 39/C39M-03. (2003). *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars).*
- ASTM C109/C109M–02. (2003). *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens).*
- ASTM C1116-1103 . (2015). *Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete.*
- ASTM C1609/C1609M-10. (2010). *Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading).*
- ASTM C173/C173M –12. (2012). *Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Volumetric Method.*
- ASTM C231-14. (2014). *Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method.*

- ASTM C595 / C595M-09. (2009). *Standard Specification for Blended Hydraulic Cements*.
- ASTM D1557. (2000). *Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort*.
- Autoridad de Fiscalización y Control de Empresas. (2012). *Estructura del Mercado del Cemento en Bolivia*.
- Calidad, I. B. (1995). Cemento-Definiciones, clasificación y especificación. *NORMA BOLIVIANA NB 011, 1*.
- Cerruto Anibarro, F. M. (2015). *Introducción al Diseño de Mezclas de Hormigón*. La Paz.
- Comisión del Hormigón. (2011). Anejo 14. *EHE-08 Instrucción de Hormigón Estructural*, 505-525.
- E. Harmsen, T. (2002). *Diseño de Estructuras de Hormigón Armado*. Perú: Fondo Editorial.
- Fannington Hillis, M. (1996). ACI 544-IR-96 State of art Report on Fiber Reinforced Concrete. *ACI*.
- García Mesenguer, Á., Morán Cabré, F., & Arroyo Portero, J. C. (2011). *Jiménez Montoya Hormigón Armado*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Guamán Ordoñez, C. J., & Pinenla López, J. V. (2019). *Análisis de las propiedades físico-mecánicas de un hormigón elaborado con fibras recicladas de envases PET, con y sin aditivo plastificante*. Quito: UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.
- Gutiérrez González, P., Díaz Caldera, L., & J. Guzmán, M. (2009). *Elementos de Diseño Experimental*. Jalisco, Mexico: Astra. Obtenido de <https://docplayer.es/10488406—Elementos—de—diseno—de—experimentos.html>
- Heileman, L. (5 de Junio de 2018). O nos divorciamos del plástico, o nos olvidamos del planeta. (L. Quiñones, Entrevistador)
- J. Acevedo. (1999). *Tres décadas de trabajo en el desarrollo sostenible en la construcción*. Cuba: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría de la Habana.

- Marketizer.com. (22 de Noviembre de 2005). *www.marketizer.com*. Obtenido de <https://www.marketizer.com/articulos/historia-del-pet-2561181.htm>
- Materials, A. S. (2003). Standard Specification for Blended Hidraulic Cements. *ASTM Internacional*, 1-2.
- Mestanza Guamancuri, J. L. (2018). *Análisis de las propiedades físico–mecánicas de un hormigón elaborado con fibras recicladas de envases PET utilizando agregados de la cantera de San Antonio y cemento Holcim tipo GU*. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Ramirez Penagos, M. J. (2017). *Determinacion de la manejabilidad de mezclas de concreto de bajo asentamiento utilizando el metodo de ensayo del consistometro Vebe*. Guatemala: Universidad Rafael Landivar.
- Rivera L., G. A. (s.f.). *Concreto Simple*. Universidad de Cauca.
- Sanabria Chioino, S. A. (2016). *Hormigon fibro-reforzado. Fibras obtenidas de envases post-consumo vs fibras sintéticas comerciales. estudio preliminar*. Montevideo: Universidad de la Republica Uruguay.
- vam der Vegt , A. (1991). *Polymeren van keten tot kunststof*. Prensa de la Universidad de Delft.
- Vargas Robles, L. (2007). *Uso de fibras de papel periodico, cal hidratada y alumbre en la elaboracion de un material compuesto*. Mexico: Tesis Universidad de Colima.

8. ANEXOS

8. ANEXOS

ANEXO 1: PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

1

PESO UNITARIO Y VACÍOS DE AGREGADO ASTM C-29

Datos del recipiente		Agregado Grueso	Agregado Fino
Peso del Recipiente (Tara):	$P_{\text{Recipiente}} [\text{g}] =$	6426	1785.7
Volumen del Recipiente:	$V_{\text{Recipiente}} [\text{cm}^3] =$	14335	2829

Datos del Peso Unitario SUELTO:		Agregado Grueso	Agregado Fino
Peso Recipiente + Muestra Suelta:	$P_{\text{Recipiente + Muestra Suelta}} [\text{g}] =$	27370	5903.0
Peso de la Muestra Suelta:	$P_{\text{Muestra Suelta}} [\text{g}] =$	20943.5	4117.3
Peso Unitario Suelto:	$\text{PUS} [\text{g}/\text{cm}^3] =$	1.461	1.455
Peso Unitario Suelto:	$\text{PUS} [\text{Kg}/\text{m}^3] =$	1461	1455

Datos del Peso Unitario COMPACTADO:		Agregado Grueso	Agregado Fino
Peso Recipiente + Muestra Compactada:	$P_{\text{Recipiente + Muestra Compactada}} [\text{g}] =$	28922.0	6230.6
Peso de la Muestra Compactada:	$P_{\text{Muestra Compactada}} [\text{g}] =$	22496	4444.9
Peso Unitario Compactado:	$\text{PUC} [\text{g}/\text{cm}^3] =$	1.569	1.571
Peso Unitario Compactado:	$\text{PUC} [\text{Kg}/\text{m}^3] =$	1569	1571

Relaciones Utilizadas:

Peso de la Muestra Suelta: $P_{\text{Muestra Suelta}} = P_{\text{Recipiente + Muestra Suelta}} - P_{\text{Recipiente}}$

Peso Unitario Suelto: $\text{PUS} = P_{\text{Muestra Suelta}} / V_{\text{Recipiente}}$

Peso de la Muestra Compactada: $P_{\text{Muestra Compactada}} = P_{\text{Recipiente + Muestra Compactada}} - P_{\text{Recipiente}}$

Peso Unitario Compactado: $\text{PUC} = P_{\text{Muestra Compactada}} / V_{\text{Recipiente}}$

IMPUREZAS ORGÁNICAS EN LA ARENA (COLORIMETRÍA): ASTM C-40

Muestra	Color
1	INCOLORO
2	
Observaciones:	La arena es apta para estructuras de alta calidad y obras de poca importancia.

Colores de la tabla calorimétrica:

1. Incoloro
2. Amarillo pálido
3. Azafrán claro (estándar)
4. Marrón rojizo oscuro
5. Marrón rojizo claro

Modo de empleo:

- 1 y 2: Arena para hormigón de alta calidad.
- 2 y 3: Arena para estructuras de poca importancia.
- 3 y 4: Arena que nunca debe utilizarse en hormigón.
- 4 y 5: Arena, suelo o limo extraordinariamente malos.

PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

2

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO: ASTM C-127

	MUESTRA N°	1	2
Peso Recipiente:	$P_{Recip} [g] =$	403.1	382.1
Peso Muestra SSS:	$P_{MSSS} [g] =$	3640.3	3359.3
Peso Sumergido Muestra + Canastillo	$P_{S(M+C)} [g] =$	3139.9	2964.6
Peso Sumergido Canastillo:	$P_{S(C)} [g] =$	887.0	887.0
Peso Sumergido Muestra: $P_{S(M)} = P_{S(M+C)} - P_{S(C)}$	$P_{S(M)} [g] =$	2252.9	2077.6
Peso o Volumen de agua: $P_{Agua} = P_{S(M+C)} - P_{S(M)}$	$P_{Agua} [g] =$	1387.4	1281.7
Peso Específico SSS: $G_{SSS} = P_{MSSS} / P_{Agua}$	$G_{SSS} [] =$	2.624	2.621
PESO ESPECÍFICO PROMEDIO	$G_{SSS} [] =$	2.622	
Peso Específico Seco: $G_s = P_{MS} / P_{Agua}$	$G_s [] =$	2.574	2.572
PESO ESPECÍFICO SECO PROMEDIO	$G_s [] =$	2.573	
Peso Muestra secada al horno + Recipiente:	$P_{MS+Recip} [g] =$	3974.1	3678.3
Peso Recipiente:	$P_{Recip} [g] =$	403.1	382.1
Peso Muestra secada al horno: $P_{MS} = P_{MS+Recip} - P_{Recip}$	$P_{MS} [g] =$	3571.0	3296.2
Peso de Agua Absorbida: $P_{Agua Abs} = P_{MSSS} - P_{MS}$	$P_{Agua Abs} [g] =$	69.3	63.1
Porcentaje de Absorción: $\% Abs = (P_{Agua Abs} * 100) / P_{MS}$	$\% Abs [%] =$	1.941	1.914
ABSORCIÓN PROMEDIO	$\% Abs [%] =$	1.927	

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO: ASTM C-128

	MUESTRA N°	1	2
Peso Frasco Volumétrico:	$P_F [G] =$	148.0	148.0
Peso fresco lleno de agua:	$P_{F+Agua} [g] =$	647.4	647.4
Peso Muestra SSS:	$P_{MSSS} [g] =$	415.8	418.8
Peso Frasco + Agua + Muestra:	$P_{F+Agua+M} [g] =$	903.9	905.4
Peso Agua Añadida: $W = P_{F+Agua+M} - P_F - P_{MSSS}$	$W [g] =$	340.1	338.6
Capacidad del Frasco: $V = P_{F+Agua} - P_F$	$V [g] =$	499.4	499.4
Peso del agua desplazada: $P_w = V - W$	$P_w [g] =$	159.3	160.8
Peso Específico SSS: $G_{SSS} = P_w / P_{MSSS}$	$G_{SSS} [] =$	2.610	2.604
PESO ESPECÍFICO PROMEDIO	$G_{SSS} [] =$	2.607	
Peso Específico Seco: P_{MS} / P_w	$G_s [] =$	2.555	2.553
PESO ESPECÍFICO SECO PROMEDIO	$G_s [] =$	2.554	
Peso Muestra secada al horno + recipiente:	$P_{MS+Recip} [g] =$	582.6	583.5
Peso Recipiente:	$P_{Recip} [g] =$	175.6	173.0
Peso Muestra secada al horno: $P_{MS} = P_{MS+Recip} - P_{Recip}$	$P_{MS} [g] =$	407.0	410.5
Peso de Agua Absorbida: $P_{Agua Abs} = P_{MSSS} - P_{MS}$	$P_{Agua Abs} [g] =$	8.8	8.3
Porcentaje de Absorción: $\% Abs = (P_{Agua Abs} * 100) / P_{MS}$	$\% Abs [%] =$	2.162	2.022
ABSORCIÓN PROMEDIO	$\% Abs [%] =$	2.092	
Temperatura del Agua:	Temperatura Ambiente:	Humedad del Ambiente:	(*) Peso unitario del agua según su Temperatura:
19 °C	21.4 %	60 %	998.398

(*) Ver Tabla de Densidad del Agua.

PORCENTAJE DE HUECOS DEL AGREGADO: ASTM C-29

Agregado:	Gruesos		Finos	
Estado:	Suelto	Compactado	Suelto	Compactado
$G_s [] =$	2.57	2.57	2.55	2.55
$PU_{Agua} [Kg/m^3] =$	998.40	998.40	998.40	998.40
$G_s * PU_{Agua} =$	2569	2569	2550	2550
$PU_{Agregado} [Kg/m^3] =$	1461	1569	1455	1571
% Huecos [%] =	43.12 %	38.91 %	42.92 %	38.38 %

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS FACULTAD DE INGENIERÍA INGENIERÍA CIVIL		INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. HUGO MANSILLA ROMERO" ANEXO : 1	
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido			Planilla : 3

MATERIAL MAS FINO QUE PASA EL TAMIZ N° 200: ASTM C-177

Muestra	Material	Peso [g]		Peso Material Fino	Porcentaje más fino o Pérdida [%]	Límites	Observaciones
		Inicial	Final				
1	Grava	2791.5	2770.1	21.40	0.77 %	< 1 [%]	Cumple
2	Arena	730.5	712	18.50	2.53 %	< 3 [%]	Cumple

TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS DESMENUZABLES: ASTM C-142

Arena					
Material		Peso [g]		Porcentaje de Pérdida [%]	Obs.
Pasa	Retenido	Inicial	Final		
# 4	# 16	104.2	102.9	1.25	<3%

Grava

Material		Porcentaje Retenido [%]	Peso [g]		Porcentaje de Pérdida [%]		Observaciones
Pasa	Retenido		Inicial	Final	Relativa	Ponderada	
2"	1 1/2"	0.00					<5%
1 1/2"	3/4"	0.40					
3/4"	3/8"	83.26	1991.10	1982.30	0.44	0.37	
3/8"	# 4	16.34	993.90	989.0	0.49	0.08	
Total:		100.0	2985.0	2971.3	0.93	0.45	

DESGASTE DEL AGREGADO GRUESO CON LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES: ASTM C-131

Gradación:	Numero de esferas a colocarse, 32 [r.p.m]			
	A	B	C	D
Carga abrasiva con:	12	11	8	6

Gradación establecida para el agregado: **B**
Número de esferas a utilizarse: **11**
Peso referencial (Antes de lavar) [g] : **3862.9 [g]**

N°	Pasado Tamiz	Retenido Tamiz	Cantidad [g]
1	1 1/2"	1"	
2	1"	3/4"	
3	3/4"	1/2"	2500.3
4	1/2"	3/8"	2499.9
Peso total: P [g] =			5000.2
Retenido Tamiz # 12 (1,7 [mm]): R [g] =			3835.2
Diferencia: D = P - R d [g] =			1165.0
Desgaste: D = (d / P) · 100 D [%]:			23.30 %

► **OBSERVACIONES:** El desgaste es menor al 50 %. El agregado resistirá a las cargas abrasivas.

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS FAULTAD DE INGENIERÍA INGENIERÍA CIVIL		INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. HUGO MANSILLA ROMERO" ANEXO : 1	
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido		Planilla :	4

VALORES DE EQUIVALENTE ARENA DE SUELOS Y AGREGADO FINO: ASTM D2419

Muestra	Nivel N _a	Nivel N _t	Equivalente Arena [%]	Observaciones
1	4.00	6.60	60.61	>75%
			61	

PARTÍCULAS PLANAS Y ALARGADAS

Material		Porcentaje Retenido [%]	Peso [g]		Porcentaje Partículas Irregulares [%]	Porcentaje Partículas Corregido [%]	Observaciones
Pasa	Retenido		Inicial de la muestra	Partículas planas y alargadas			
2 "	1 1/2"						<15%
1 1/2"	1"						
1 "	3/4"						
3/4"	1/2"	51.90	724.5	50.9	7.03 %	3.65 %	
1/2"	3/8"	31.36	300.6	72.8	24.22 %	7.59 %	
3/8"	# 4	16.34	254.0	47.0	18.50 %	3.02 %	
Total:		99.60	1279.1	170.7	49.75	14.26 %	

PORCENTAJE DE PARTÍCULAS CON CARAS PRODUCIDAS POR FRACTURAS

Material		Porcentaje Retenido [%]	Peso [g]		Porcentaje Partículas Irregulares [%]	Porcentaje Partículas Corregido [%]	Observaciones
Pasa	Retenido		Inicial de la muestra	Partículas fracturadas			
2 "	1 1/2"						>60% Chancado
1 1/2"	1"						
1"	3/4"	0.00					
3/4"	1/2"	51.90	724.5	525.6	72.55 %	37.65 %	
1/2"	3/8"	31.36	300.6	140.9	46.87 %	14.70 %	
3/8"	# 4	16.34	254.0	189.3	74.53 %	12.18 %	
Total:		99.6	1279.1	855.8	193.95	64.53 %	

PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

5

GRANULOMETRÍA GRAVA - ARENA: ASTM-136

AGREGADO GRUESO.

Peso Inicial [P_{Inicial Grava}]: 5565.6 [g]

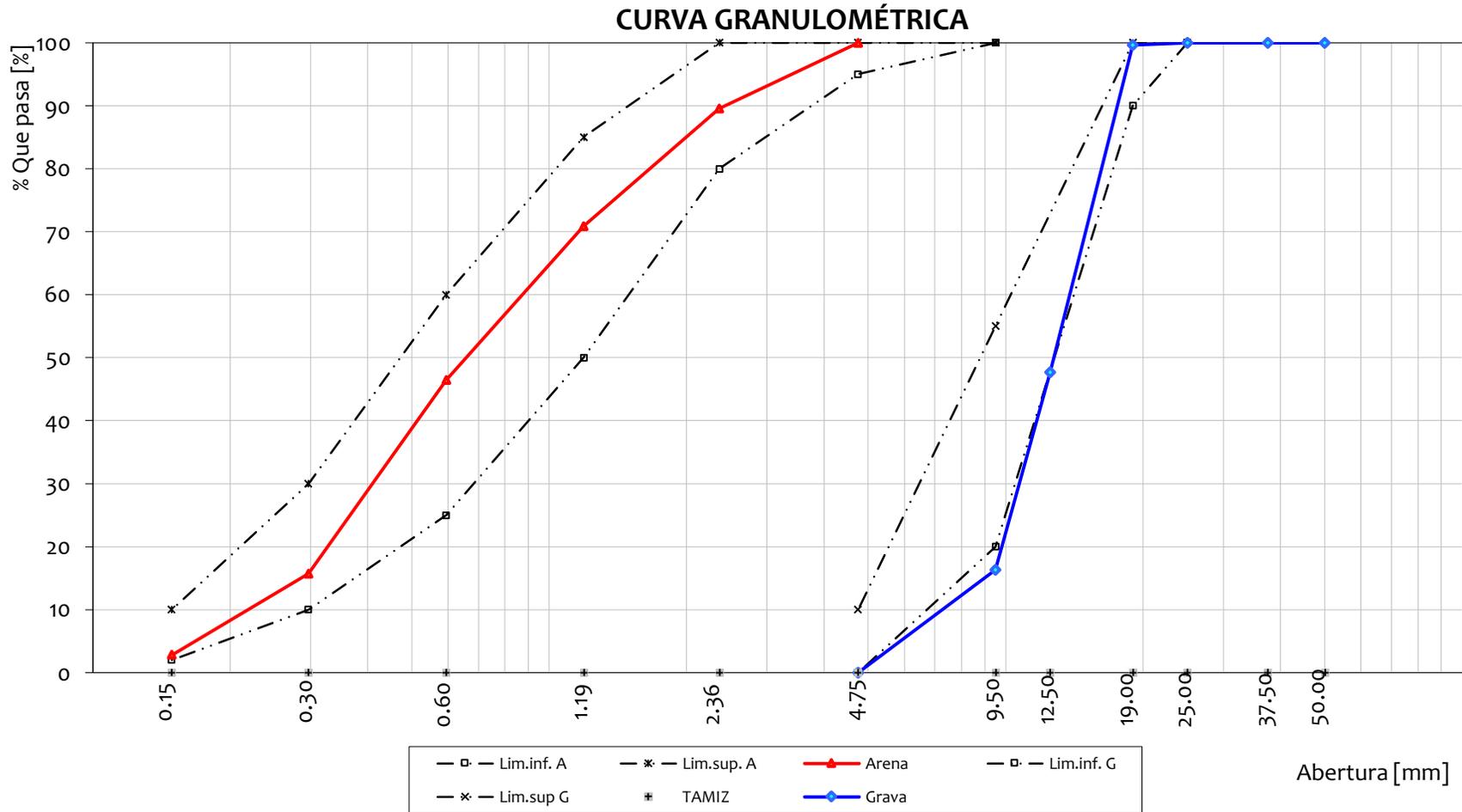
Tamiz	Abertura [mm]	Peso Retenido [g]	Retenido Acumulado [g]	Retenido Acumulado [%]	Peso que Pasa [g]	Porcentaje que Pasa Total [%]	Porcentaje que Pasa [%]	Especificaciones	
								Máx.	Mín.
2"	50.00	0.00	0.00	0.0	5564.8	100.0	100.0		
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.0	5564.8	100.0	100.0		
1"	25.00	0.00	0.00	0.0	5564.8	100.0	100.0	100	100
3/4"	19.00	22.00	22.00	0.4	5542.8	99.6	99.6	100	90
1/2"	12.50	2833.20	2855.20	51.3	2709.6	48.7	47.7		
3/8"	9.50	1711.70	4566.90	82.1	997.9	17.9	16.3	55	20
# 4	4.75	891.90	5458.80	98.1	106.0	1.9	0.0	10	0
Pasa # 4	Charola	106.00	5564.80	100.0					
	∑ :	5564.80			Módulo granulométrico [MG] :	6.81		Porcentaje grueso (Grava) [%]:	98.1 %
	Dif. [g] :	0.80			Tamaño máximo Nominal [TMN]:	3/4"		Porcentaje finos (Grava) [%]:	1.9 %
	Pérdidas [%] :	0.01 %							

AGREGADO FINO:

Peso Inicial [P_{Inicial Arena}]: 1019.3 [g]

Tamiz	Abertura [mm]	Peso Retenido [g]	Retenido Acumulado [g]	Retenido Acumulado [%]	Peso que Pasa [g]	Porcentaje que Pasa Total [%]	Porcentaje que Pasa [%]	Porcentaje que Pasa [%]	Especificaciones	
									Máx.	Mín.
3/8"	9.50				1020.6	100.0	100.0	0.0	100	100
# 4	4.750	2.00	2.00	0.2	1018.6	99.8	100.0	0.0	100	95
# 8	2.360	106.80	108.80	10.7	911.8	89.3	89.5	10.5	100	80
# 16	1.190	190.10	298.90	29.3	721.7	70.7	70.9	29.1	85	50
# 30	0.595	248.80	547.70	53.7	472.9	46.3	46.4	53.6	60	25
# 50	0.297	313.10	860.80	84.3	159.8	15.7	15.7	84.3	30	10
# 100	0.149	131.10	991.90	97.2	28.7	2.8	2.8	97.2	10	2
Charola	Charola	28.70								
	∑ :	1020.60			Módulo de finura de la Arena [Mf _{Arena}] :	2.75 [g]		Porcentaje grueso (Grava) [%]:	99.8 %	
	Dif. [g] :	1.30						Porcentaje finos (Grava) [%]:	0.2 %	
	Pérdidas [%] :	0.13 %								

GRANULOMETRÍA GRAVA - ARENA: ASTM-136



PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

7

GRANULOMETRÍA GRAVA - ARENA: ASTM-136

AGREGADO GRUESO.

Peso Inicial [P_{Inicial Grava}]: 5490.1 [g]

Tamiz	Abertura [mm]	Peso Retenido [g]	Retenido Acumulado [g]	Retenido Acumulado [%]	Peso que Pasa [g]	Porcentaje que Pasa Total [%]	Porcentaje que Pasa [%]	Especificaciones	
								Máx.	Mín.
2"	50.00	0.00	0.00	0.0	5488.5	100.0	100.0		
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.0	5488.5	100.0	100.0		
1"	25.00	0.00	0.00	0.0	5488.5	100.0	100.0	100	100
3/4"	19.00	29.40	29.40	0.5	5459.1	99.5	99.5	100	90
1/2"	12.50	2840.10	2869.50	52.3	2619.0	47.7	46.7		
3/8"	9.50	1661.80	4531.30	82.6	957.2	17.4	15.8	55	20
# 4	4.75	853.30	5384.60	98.1	103.9	1.9	0.0	10	0
Pasa # 4	Charola	103.90	5488.50	100.0					
	∑ :	5488.50							
	Dif. [g] :	1.60							
	Pérdidas [%] :	0.03 %							

Módulo granulométrico [MG] : **6.81** Porcentaje grueso (Grava) [%]: **98.1 %**
Tamaño máximo Nominal [TMN]: **3/4"** Porcentaje finos (Grava) [%]: **1.9 %**

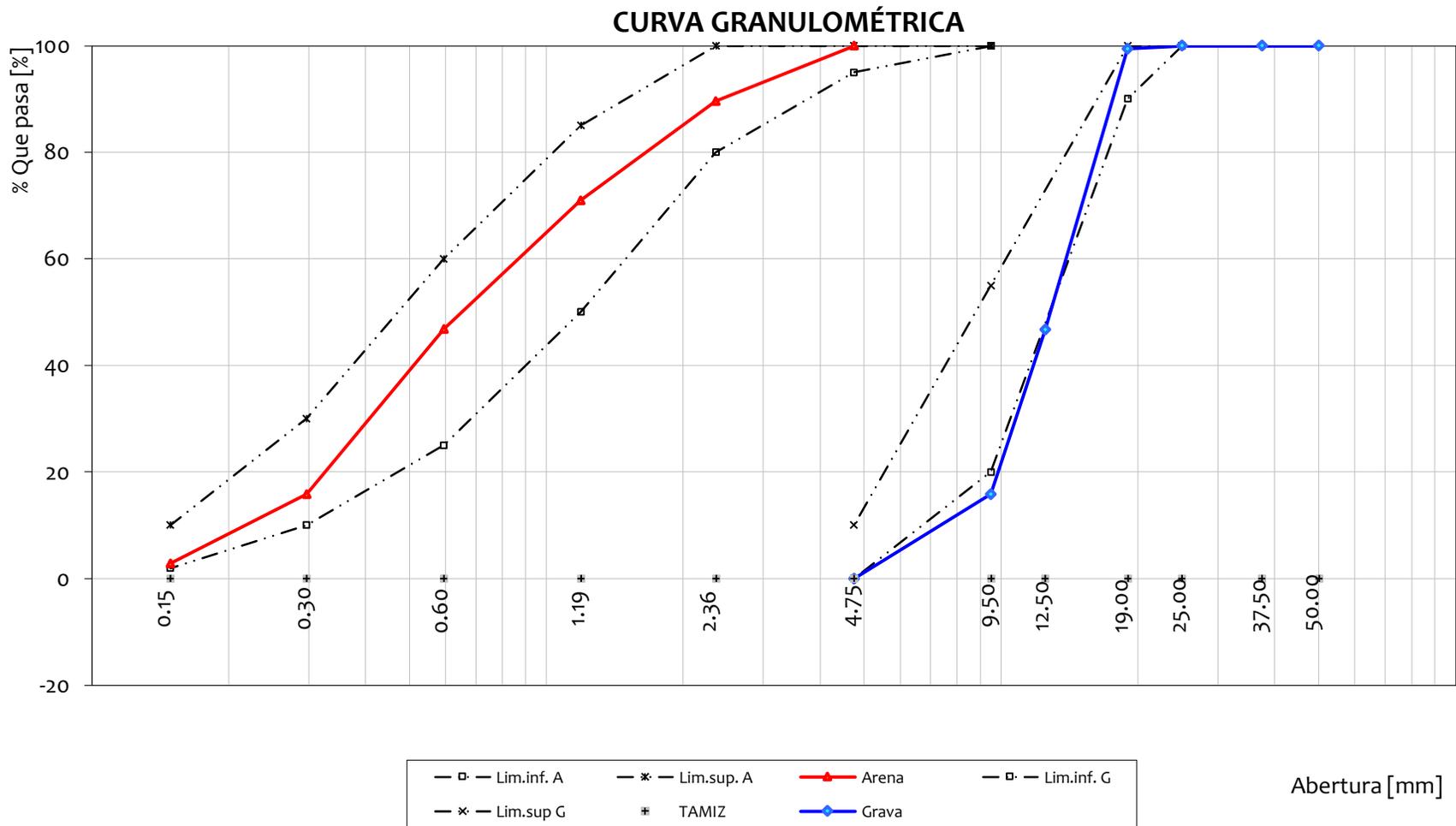
AGREGADO FINO:

Peso Inicial [P_{Inicial Arena}]: 994.7 [g]

Tamiz	Abertura [mm]	Peso Retenido [g]	Retenido Acumulado [g]	Retenido Acumulado [%]	Peso que Pasa [g]	Porcentaje que Pasa Total [%]	Porcentaje que Pasa [%]	Porcentaje que Pasa [%]	Especificaciones	
									Máx.	Mín.
3/8"	9.50				996.3	100.0	100.0	0.0	100	100
# 4	4.750	1.70	1.70	0.2	994.6	99.8	100.0	0.0	100	95
# 8	2.360	103.60	105.30	10.6	891.0	89.4	89.6	10.4	100	80
# 16	1.190	185.30	290.60	29.2	705.7	70.8	71.0	29.0	85	50
# 30	0.595	240.10	530.70	53.3	465.6	46.7	46.8	53.2	60	25
# 50	0.297	308.40	839.10	84.2	157.2	15.8	15.8	84.2	30	10
# 100	0.149	128.90	968.00	97.2	28.3	2.8	2.8	97.2	10	2
Charola	Charola	28.30								
	∑ :	996.30								
	Dif. [g] :	1.60								
	Pérdidas [%] :	0.16 %								

Módulo de finura de la Arena [Mf_{Arena}] : **2.75 [g]** Porcentaje grueso (Grava) [%]: **99.8 %**
Porcentaje finos (Grava) [%]: **0.2 %**

GRANULOMETRÍA GRAVA - ARENA: ASTM-136



**ANEXO 2: DOSIFICACIONES DEL PRIMER
HEXÁGONO**

PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

1

Fecha: 19/05/2021 Dosificación N°: Prueba

CARACTERISTICAS:

MATERIAL	% humedad	% absorción	Pe	PUc	PUs
				kg/m3	kg/m3
Agua	***	***	1.000	1000.000	
Cemento	***	***	2.810	1407.000	
Grava	2.940	1.927	2.573	1569	1461
Arena	10.150	2.092	2.554	1571	1455
Aire tablas=			1.6		

INFORMACIÓN INICIAL

Resistencia característica [Mpa]	21
Resistencia media [Mpa]	26.20

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN NORMAL - ACI 211,1

Grava:	Hampaturi, chancado
Arena:	Chacoma
Cemento:	Viacha

DOSIFICACIÓN GRAVIMÉTRICA

Material	Base aprobada (firmada), kg/m3	Operativa seco	Dosificación operativa, Kg		Seco ejecutado, g	Volumenes absolutos materiales, L	Ajustada por PU, kg/m3	DRE, kg/m3	Volumen suelto seco, L	Observaciones
			Calculada	Ejecutada						
			Vr, m3 = 0.009000							
Agua	202.000	1.818	1.231	1.571	2.158	2.158	234.727	233.727	233.727	
Cemento	371.734	3.346	3.346	3.346	3.346	1.191	431.960	362.353	257.536	
Grava	980.816	8.827	9.087	9.087	8.827	3.431	956.065	956.065	654.388	
Arena	685.787	6.172	6.799	6.799	6.172	2.417	602.661	668.481	459.314	
TOTAL	2240.337	20.163	20.462	20.802	20.503	9.196	2225.413	2220.625	1604.964	
%G =	58.9						61.3	58.9		
%A =	41.1						38.7	41.1		Pm = 20.802
Relación a/c	0.543						0.543	0.645		Vm = 9.196

Volumen de revoltura (calculado), L =	9.000
As (buscado), cm =	4.000
as (obtenido), cm =	3.500
Agua sobrante/aumentada =	0.340
P(horm+recip), g =	18269
Peso recip, g =	2480.800

Vol recip, [cm3] =	7008.000
PU horm, kg/m3 =	2.253
Rendimiento, l =	9.233
aire, % (calculado) =	0.401
aire, % (asumido) =	0.401
Vreal (producido), m3 =	9.233

Calculando la dosif operativa (DRE) para un volumen realmente producido Vreal		
verificación de cálculo, Kg	Agua	2.158
	Cemento	3.346
	Grava	8.827
	Arena	6.172

PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

2

Dosificación N°: 0 Fibras: 0 [kg/m³] Ancho de fibra: 0 [mm]

CARACTERISTICAS:

MATERIAL	% humedad	% absorción	Pe	PUc	PUs
				kg/m ³	kg/m ³
Agua	***	***	1.000	1000.000	
Cemento	***	***	2.810	1407.000	
Grava	2.820	1.927	2.573	1569	1461
Arena	9.730	2.092	2.554	1571	1455
Aire tablas=			1.6		

INFORMACIÓN INICIAL

Resistencia característica [Mpa]	21
Resistencia media [Mpa]	26.20

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN NORMAL - ACI 211,1

Grava:	Hampaturi, chancado
Arena:	Chacoma
Cemento:	Viacha

DOSIFICACIÓN GRAVIMÉTRICA

Material	Base aprobada (firmada), kg/m ³	Operativa seco	Dosificación operativa.Kg		Seco ejecutado, g	Volumenes absolutos materiales, L	Ajustada por PU, kg/m ³	DRE, kg/m ³	Volumen suelto seco, L	Observaciones		
			Vr, m ³ = 0.064000								Vr (producido), m ³ = 0.06395600	
			Calculada	Ejecutada								
Agua	234.727	15.023	11.530	11.530	15.023	15.023	233.888	234.888	234.888			
Cemento	431.960	27.645	27.645	27.645	27.645	9.838	430.417	432.257	307.219			
Grava	956.065	61.188	62.914	62.914	61.188	23.781	956.723	956.723	654.839			
Arena	602.661	38.570	42.323	42.323	38.570	15.102	607.321	603.095	414.387			
TOTAL	2225.413	142.426	144.412	144.412	142.426	63.744	2228.349	2226.962	1611.332			
%G =	61.3						61.2	61.3				
%A =	38.7						38.8	38.7		Pm = 144.412		
Relación a/c	0.543						0.543	0.543		Vm = 63.744		

Volumen de revoltura (calculado), L =	64.000
As (buscado), cm =	4.000
as (obtenido), cm =	4.500
Agua sobrante/aumentada =	0.000
P(horm+recip), g =	18119
Peso recip, g =	2373.200

Vol recip, [cm ³] =	6974.000
PU horm, kg/m ³ =	2.258
Rendimiento, l =	63.956
aire, % (calculado) =	0.331
aire, % (asumido) =	0.331
Vreal (producido), m ³ =	63.956

Calculando la dosif operativa (DRE) para un volumen realmente producido Vreal		
verificación de cálculo,Kg	Agua	15.023
	Cemento	27.645
	Grava	61.188
	Arena	38.570

Ensayos a compresion

Probeta	Fecha de		Edad	Perímetro	Carga	Peso	Altura	PU	Resistencia [MPa]		Observ.
	Vaciado	Ensayo							[días]	[cm]	
N°											
1	25-may-21	01-jun-21	7	31.9	153.0	3750	19.8	2339	18.9	19.0	
2	25-may-21	01-jun-21	7	32.0	156.3	3798	20.2	2307	19.2		
3	25-may-21	22-jun-21	28	32.2	202.6	3820	20.1	2303	24.6	25.4	
4	25-may-21	22-jun-21	28	32.2	217.2	3755	19.7	2310	26.3		

Ensayos a Flexión

Probeta	Fecha de		Edad	Base de la viga	Carga	Peso	Altura de la viga	Longitud de la viga	PU	Resistencia [MPa]	
	Vaciado	Ensayo								[días]	[cm]
N°											
1	25-may-21	01-jun-21	7	15.4	21.0	29348	15.2	53.6	2339	2.6	2.7
2	25-may-21	01-jun-21	7	15.4	21.6	29303	15.2	53.4	2344	2.7	
3	25-may-21	22-jun-21	28	15.4	26.0	29192	15.2	53.6	2327	3.3	3.4
4	25-may-21	22-jun-21	28	15.4	27.2	29469	15.2	53.6	2349	3.4	

PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

3

Dosificación N°: 1 Fibras: 5 [kg/m3] Ancho de fibra: 2 [mm]

CARACTERISTICAS:

MATERIAL	% humedad	% absorción	Pe	PUc	PUs
				kg/m3	kg/m3
Agua	***	***	1.000	1000.000	
Cemento	***	***	2.810	1407.000	
Grava	2.299	1.927	2.573	1569	1461
Arena	14.280	2.092	2.554	1571	1455
Aire tablas=			1.6		

INFORMACIÓN INICIAL

Resistencia característica [Mpa]	21
Resistencia media [Mpa]	26.20

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN NORMAL - ACI 211,1

Grava:	Hampaturi, chancado
Arena:	Chacoma
Cemento:	Viacha

DOSIFICACIÓN GRAVIMÉTRICA

Material	Base aprobada (firmada), kg/m3	Operativa seco	Dosificación operativa, Kg		Seco ejecutado, g	Volumenes absolutos materiales, L	Ajustada por PU, kg/m3	DRE, kg/m3	Volumen suelto seco, L	Observaciones
			Vr, m3 = 0.064000							
			Calculada	Ejecutada						
Agua	234.727	15.023	10.094	10.094	15.023	15.023	233.368	234.368	234.368	
Cemento	431.960	27.645	27.645	27.645	27.645	9.838	429.459	431.299	306.538	
Grava	956.065	61.188	62.595	62.595	61.188	23.781	954.603	954.603	653.388	
Arena	602.661	38.570	44.078	44.078	38.570	15.102	605.985	601.759	413.469	
TOTAL	2225.413	142.426	144.412	144.412	142.426	63.744	2223.415	2222.029	1607.763	
%G =	61.3						61.2	61.3		LOSA
%A =	38.7						38.8	38.7		Pm = 144.412
Relación a/c	0.543						0.543	0.543		Vm = 63.744

Volumen de revoltura (calculado), L =	64.000
As (buscado), cm =	4.000
as (obtenido), cm =	4.500
Agua sobrante/aumentada =	0.000
P(horm+recip), g =	18084
Peso recip , g =	2373.200

Vol recip, [cm3] =	6974.000
PU horm , kg/m3 =	2.253
Rendimiento, l =	64.098
aire, % (calculado) =	0.552
aire, % (asumido) =	0.552
Vreal (producido), m3 =	64.098

Calculando la dosif operativa (DRE) para un volumen realmente producido Vreal		
verificación de cálculo, Kg	Agua	15.023
	Cemento	27.645
	Grava	61.188
	Arena	38.570

Ensayos a Compresion

Probeta	Fecha de		Edad	Perímetro	Carga	Peso	Altura	PU	Resistencia [MPa]		códificación
	Vaciado	Ensayo							[días]	[cm]	
N°											
1	19-may-21	26-may-21	7	32.2	190.6	3750	19.7	2307	23.1	22.7	
2	19-may-21	26-may-21	7	32.1	182.7	3775	19.9	2313	22.3		
3	19-may-21	16-jun-21	28	32.2	217.3	3852	20.1	2323	26.3	27.1	
4	19-may-21	16-jun-21	28	32.0	227.1	3797	20.1	2318	27.9		

Ensayos Flexion

Probeta	Fecha de		Edad	Base de la viga	Carga	Peso	Altura de la viga	Longitud de la viga	PU	Resistencia [MPa]	
	Vaciado	Ensayo								[días]	[cm]
N°											
1	19-may-21	26-may-21	7	15.4	22.2	29305	15.3	53.6	2328	2.8	2.8
2	19-may-21	26-may-21	7	15.4	21.7	29291	15.2	53.4	2343	2.7	
3	19-may-21	16-jun-21	28	15.4	27.0	29081	15.3	53.6	2310	3.4	3.5
4	19-may-21	16-jun-21	28	15.4	28.6	29045	15.2	53.6	2322	3.6	

PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

4

Dosificación Nº: 2 Fibras: 10 [kg/m3] Espesor de fibra: 3 [mm]

CARACTERISTICAS:

MATERIAL	% humedad	% absorción	Pe	PUc	PUs
				kg/m3	kg/m3
Agua	***	***	1.000	1000.000	
Cemento	***	***	2.810	1407.000	
Grava	2.270	1.927	2.573	1569	1461
Arena	14.120	2.092	2.554	1571	1455
Aire tablas=			1.6		

INFORMACIÓN INICIAL

Resistencia característica [Mpa]	21
Resistencia media [Mpa]	26.20

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN NORMAL - ACI 211,1

Grava:	Hampaturi, chancado
Arena:	Chacoma
Cemento:	Viacha

DOSIFICACIÓN GRAVIMÉTRICA

Material	Base aprobada (firmada), kg/m3	Operativa seco	Dosificación operativa, Kg		Seco ejecutado, g	Volumenes absolutos materiales, L	Ajustada por PU, kg/m3	DRE, kg/m3	Volumen suelto seco, L	Observaciones
			Calculada	Ejecutada						
			Vr, m3 = 0.064000							
Agua	234.727	15.023	10.173	10.173	15.023	15.023	233.327	233.327	233.327	
Cemento	431.960	27.645	27.645	27.645	27.645	9.838	429.383	429.383	305.176	
Grava	956.065	61.188	62.577	62.577	61.188	23.781	950.363	950.363	650.486	
Arena	602.661	38.570	44.016	44.016	38.570	15.102	599.086	599.086	411.632	
TOTAL	2225.413	142.426	144.412	144.412	142.426	63.744	2212.158	2212.158	1600.621	
%G =	61.3						61.3	61.3		LOSA
%A =	38.7						38.7	38.7		Pm = 144.412
Relación a/c	0.543						0.543	0.543		Vm = 63.744

Volumen de revoltura (calculado), L =	64.000
As (buscado), cm =	4.000
as (obtenido), cm =	4.000
Agua sobrante/aumentada =	0.000
P(horm+recip), g =	18015
Peso recip, g =	2373.200

Vol recip, [cm3] =	6974.000
PU horm, kg/m3 =	2.243
Rendimiento, l =	64.384
aire, % (calculado) =	0.994
aire, % (asumido) =	0.994
Vreal (producido), m3 =	64.384

Calculando la dosif operativa (DRE) para un volumen realmente producido Vreal		
verificación de cálculo, Kg	Agua	15.023
	Cemento	27.645
	Grava	61.188
	Arena	38.570

Probeta	Fecha de		Edad	Perímetro	Carga	Peso	Altura	PU	Resistencia [MPa]		códificación
	Vaciado	Ensayo							[días]	[cm]	
N°											
1	20-may-21	27-may-21	7	32.2	164.1	3832	20.1	2310	19.9	19.9	
2	20-may-21	27-may-21	7	32.3	165.7	3745	19.7	2290	20.0		
3	20-may-21	17-jun-21	28	32.1	204.7	3786	20.1	2297	25.0	24.6	
4	20-may-21	17-jun-21	28	32.0	198.2	3817	32.1	1459	24.3		

Probeta	Fecha de		Edad	Base de la viga	Carga	Peso	Altura de la viga	Longitud de la viga	PU	Resistencia [MPa]	
	Vaciado	Ensayo								[días]	[cm]
N°											
1	20-may-21	27-may-21	7	15.4	21.7	29105	15.3	53.6	2312	2.7	2.8
2	20-may-21	27-may-21	7	15.4	23.1	29121	15.2	53.4	2330	2.9	
3	20-may-21	17-jun-21	28	15.4	26.7	29378	15.2	53.6	2341	3.4	3.3
4	20-may-21	17-jun-21	28	15.4	26.4	29368	15.3	53.6	2325	3.3	

PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

5

Dosificación Nº: 3 Fibras: 20 [kg/m3] Espesor de fibra: 3 [mm]

CARACTERISTICAS:

MATERIAL	% humedad	% absorción	Pe	PUc	PUs
				kg/m3	kg/m3
Agua	***	***	1.000	1000.000	
Cemento	***	***	2.810	1407.000	
Grava	1.890	1.927	2.573	1569	1461
Arena	9.950	2.092	2.554	1571	1455
Aire tablas=			1.6		

INFORMACIÓN INICIAL

Resistencia característica [Mpa]	21
Resistencia media [Mpa]	26.20

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN NORMAL - ACI 211,1

Grava:	Hampaturi, chancado
Arena:	Chacoma
Cemento:	Viacha

DOSIFICACIÓN GRAVIMÉTRICA

Material	Base aprobada (firmada), kg/m3	Operativa seco	Dosificación operativa, Kg		Seco ejecutado, g	Volumenes absolutos materiales, L	Ajustada por PU, kg/m3	DRE, kg/m3	Volumen suelto seco, L	Observaciones
			Calculada	Ejecutada						
			Vr, m3 = 0.064000							
Agua	234.727	15.023	12.014	12.014	15.023	15.023	238.121	233.121	233.121	
Cemento	431.960	27.645	27.645	27.645	27.645	9.838	438.205	429.004	304.907	
Grava	956.065	61.188	62.345	62.345	61.188	23.781	949.522	949.522	649.910	
Arena	602.661	38.570	42.408	42.408	38.570	15.102	577.423	598.556	411.268	
TOTAL	2225.413	142.426	144.412	144.412	142.426	63.744	2203.270	2210.202	1599.205	
%G =	61.3						62.2	61.3		LOSA
%A =	38.7						37.8	38.7		Pm = 144.412
Relación a/c	0.543						0.543	0.543		Vm = 63.744

Volumen de revoltura (calculado), L =	64.000
As (buscado), cm =	4.000
as (obtenido), cm =	1.500
Agua sobrante/aumentada =	0.000
P(horm+recip), g =	18001
Peso recip, g =	2373.200

Vol recip, [cm3] =	6974.000
PU horm, kg/m3 =	2.241
Rendimiento, l =	64.441
aire, % (calculado) =	1.082
aire, % (asumido) =	1.082
Vreal (producido), m3 =	64.441

Calculando la dosif operativa (DRE) para un volumen realmente producido Vreal		
verificación de cálculo, Kg	Agua	15.023
	Cemento	27.645
	Grava	61.188
	Arena	38.570

Probeta	Fecha de		Edad	Perímetro	Carga	Peso	Altura	PU	Resistencia [MPa]		códificación
	Vaciado	Ensayo							[días]	[cm]	
N°											
1	06-may-21	13-may-21	7	32.0	133.4	3770	20.2	2290	16.4	16.7	
2	06-may-21	13-may-21	7	32.1	140.0	3756	20.0	2290	17.1		
3	06-may-21	03-jun-21	28	32.1	182.0	3673	19.7	2274	22.2	21.3	
4	06-may-21	03-jun-21	28	32.3	169.2	3786	20.2	2257	20.4		

Probeta	Fecha de		Edad	Base de la viga	Carga	Peso	Altura de la viga	Longitud de la viga	PU	Resistencia [MPa]	
	Vaciado	Ensayo								[días]	[cm]
N°											
1	06-may-21	13-may-21	7	15.5	21.8	29031	15.2	53.6	2306	2.7	2.6
2	06-may-21	13-may-21	7	15.4	19.8	28754	15.2	53.4	2300	2.5	
3	06-may-21	03-jun-21	28	15.4	25.1	28863	15.3	53.6	2293	3.1	3.1
4	06-may-21	03-jun-21	28	15.4	23.7	28960	15.2	53.6	2308	3.0	

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES FAULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA CIVIL	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. HUGO MANSILLA ROMERO" ANEXO: 2
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido	Planilla : 6

Dosificación Nº: 4 Fibras: 25 [kg/m3] Espesor de fibra: 2 [mm]

CARACTERISTICAS:

MATERIAL	% humedad	% absorción	Pe	PUc	PUs
				kg/m3	kg/m3
Agua	***	***	1.000	1000.000	
Cemento	***	***	2.810	1407.000	
Grava	2.520	1.927	2.573	1569	1461
Arena	9.435	2.092	2.554	1571	1455
Aire tablas=			1.6		

INFORMACIÓN INICIAL

Resistencia característica [Mpa]	21
Resistencia media [Mpa]	26.20

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN NORMAL - ACI 211,1

Grava:	Hampaturi, chancado
Arena:	Chacoma
Cemento:	Viacha

DOSIFICACIÓN GRAVIMÉTRICA

Material	Base aprobada (firmada), kg/m3	Operativa seco	Dosificación operativa, Kg		Seco ejecutado, g	Volumenes absolutos materiales, L	Ajustada por PU, kg/m3	DRE, kg/m3	Volumen suelto seco, L	Observaciones
			Calculada	Ejecutada						
			Vr, m3 = 0.064000 Vr (producido), m3 = 0.06496300							
Agua	234.727	15.023	11.827	11.827	15.023	15.023	239.247	231.247	231.247	
Cemento	431.960	27.645	27.645	27.645	27.645	9.838	440.278	425.556	302.457	
Grava	956.065	61.188	62.730	62.730	61.188	23.781	941.892	941.892	644.688	
Arena	602.661	38.570	42.209	42.209	38.570	15.102	559.933	593.746	407.963	
TOTAL	2225.413	142.426	144.412	144.412	142.426	63.744	2181.351	2192.442	1586.355	
%G =	61.3						62.7	61.3		LOSA
%A =	38.7						37.3	38.7		Pm = 144.412
Relación a/c	0.543						0.543	0.543		Vm = 63.744

Volumen de revoltura (calculado), L =	64.000
As (buscado), cm =	4.000
as (obtenido), cm =	0.000
Agua sobrante/aumentada =	0.000
P(horm+recip), g =	17877
Peso recip, g =	2373.200

Vol recip, [cm3] =	6974.000
PU horm, kg/m3 =	2.223
Rendimiento, l =	64.963
aire, % (calculado) =	1.876
aire, % (asumido) =	1.876
Vreal (producido), m3 =	64.963

Calculando la dosif operativa (DRE) para un volumen realmente producido Vreal		
verificación de cálculo, Kg	Agua	15.023
	Cemento	27.645
	Grava	61.188
	Arena	38.570

Probeta	Fecha de		Edad	Perímetro	Carga	Peso	Altura	PU	Resistencia [MPa]		códificación
	Vaciado	Ensayo							Obtenida	Promedio	
N°			[días]	[cm]	[KN]	[g]	[cm]	[kg/m ³]			
1	05-may-21	12-may-21	7	32.3	132.8	3785	20.1	2268	16.0	14.9	
2	05-may-21	12-may-21	7	32.1	112.6	3741	20.2	2259	13.7		
3	05-may-21	02-jun-21	28	32.1	170.7	3702	20.0	2257	20.8	21.7	
4	05-may-21	02-jun-21	28	32.2	185.5	3823	20.2	2294	22.5		

Probeta	Fecha de		Edad	Base de la viga	Carga	Peso	Altura de la viga	Longitud de la viga	PU	Resistencia [MPa]	
	Vaciado	Ensayo								Obtenida	Promedio
N°			[días]	[cm]	[KN]	[g]	[cm]	[cm]	[kg/m ³]		
5	05-may-21	12-may-21	7	15.4	21.3	28783	15.2	53.6	2294	2.7	2.8
6	05-may-21	12-may-21	7	15.4	22.2	28801	15.0	53.4	2335	2.9	
7	05-may-21	02-jun-21	28	15.3	28.6	28741	15.3	53.6	2298	3.6	3.4
8	05-may-21	02-jun-21	28	15.3	24.7	28462	15.2	53.6	2283	3.1	

PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

7

Dosificación Nº: 5 Fibras: 20 [kg/m3] Espesor de fibra: 1 [mm]

CARACTERISTICAS:

MATERIAL	% humedad	% absorción	Pe	PUc	PUs
				kg/m3	kg/m3
Agua	***	***	1.000	1000.000	
Cemento	***	***	2.810	1407.000	
Grava	2.125	1.927	2.573	1569	1461
Arena	10.090	2.092	2.554	1571	1455
Aire tablas=			1.6		

INFORMACIÓN INICIAL

Resistencia característica [Mpa]	21
Resistencia media [Mpa]	26.20

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN NORMAL - ACI 211,1

Grava:	Hampaturi, chancado
Arena:	Chacoma
Cemento:	Viacha

DOSIFICACIÓN GRAVIMÉTRICA

Material	Base aprobada (firmada), kg/m3	Operativa seco	Dosificación operativa, Kg		Seco ejecutado, g	Volumenes absolutos materiales, L	Ajustada por PU, kg/m3	DRE, kg/m3	Volumen suelto seco, L	Observaciones
			Calculada	Ejecutada						
			Vr, m3 = 0.064000							
Agua	234.727	15.023	11.817	11.817	15.023	15.023	240.368	234.368	234.368	
Cemento	431.960	27.645	27.645	27.645	27.645	9.838	442.341	431.299	306.538	
Grava	956.065	61.188	62.488	62.488	61.188	23.781	954.603	954.603	653.388	
Arena	602.661	38.570	42.462	42.462	38.570	15.102	576.399	601.759	413.469	
TOTAL	2225.413	142.426	144.412	144.412	142.426	63.744	2213.711	2222.029	1607.763	
%G =	61.3						62.4	61.3		LOSA
%A =	38.7						37.6	38.7		Pm = 144.412
Relación a/c	0.543						0.543	0.543		Vm = 63.744

Volumen de revoltura (calculado), L =	64.000
As (buscado), cm =	4.000
as (obtenido), cm =	1.000
Agua sobrante/aumentada =	0.000
P(horm+recip), g =	18083
Peso recip, g =	2373.200

Vol recip, [cm3] =	6974.000
PU horm, kg/m3 =	2.253
Rendimiento, l =	64.098
aire, % (calculado) =	0.552
aire, % (asumido) =	0.552
Vreal (producido), m3 =	64.098

Calculando la dosif operativa (DRE) para un volumen realmente producido Vreal		
verificación de cálculo, Kg	Agua	15.023
	Cemento	27.645
	Grava	61.188
	Arena	38.570

Probeta	Fecha de		Edad	Perímetro	Carga	Peso	Altura	PU	Resistencia [MPa]		códificación
	Vaciado	Ensayo							[días]	[cm]	
N°											
1	13-may-21	20-may-21	7	32.4	137.1	3733	20.7	2159	16.4	16.6	
2	13-may-21	20-may-21	7	32.9	144.1	3765	20.2	2164	16.7		
3	13-may-21	10-jun-21	28	32.1	168.2	3764	19.9	2307	20.5	21.3	
4	13-may-21	10-jun-21	28	32.1	180.3	3764	19.8	2318	22.0		

Probeta	Fecha de		Edad	Base de la viga	Carga	Peso	Altura de la viga	Longitud de la viga	PU	Resistencia [MPa]	
	Vaciado	Ensayo								[días]	[cm]
N°											
1	13-may-21	20-may-21	7	15.4	20.2	28886	15.2	53.6	2302	2.5	2.5
2	13-may-21	20-may-21	7	15.4	20.2	28740	15.2	53.4	2299	2.5	
3	13-may-21	10-jun-21	28	15.4	23.4	28739	15.2	53.6	2291	3.0	3.2
4	13-may-21	10-jun-21	28	15.4	26.8	28859	15.3	53.6	2293	3.4	

PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

8

Dosificación Nº: 6 Fibras: 25 [kg/m3] Espesor de fibra: 1 [mm]

CARACTERISTICAS:

MATERIAL	% humedad	% absorción	Pe	PUc	PUs
				kg/m3	kg/m3
Agua	***	***	1.000	1000.000	
Cemento	***	***	2.810	1407.000	
Grava	2.580	1.927	2.573	1569	1461
Arena	10.600	2.092	2.554	1571	1455
Aire tablas=			1.6		

INFORMACIÓN INICIAL

Resistencia característica [Mpa]	21
Resistencia media [Mpa]	26.20

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN NORMAL - ACI 211,1

Grava:	Hampaturi, chancado
Arena:	Chacoma
Cemento:	Viacha

DOSIFICACIÓN GRAVIMÉTRICA

Material	Base aprobada (firmada), kg/m3	Operativa seco	Vr, m3 = 0.064000		Vr (producido), m3 = 0.06406900		Ajustada por PU, kg/m3	DRE, kg/m3	Volumen suelto seco, L	Observaciones
			Dosificación operativa, Kg		Seco ejecutado, g	Volumenes absolutos materiales, L				
			Calculada	Ejecutada						
Agua	234.727	15.023	11.341	11.341	15.023	15.023	237.474	234.474	234.474	
Cemento	431.960	27.645	27.645	27.645	27.645	9.838	437.015	431.494	306.677	
Grava	956.065	61.188	62.767	62.767	61.188	23.781	955.035	955.035	653.684	
Arena	602.661	38.570	42.659	42.659	38.570	15.102	589.351	602.031	413.656	
TOTAL	2225.413	142.426	144.412	144.412	142.426	63.744	2218.876	2223.035	1608.491	
%G =	61.3						61.8	61.3		LOSA
%A =	38.7						38.2	38.7		Pm = 144.412
Relación a/c	0.543						0.543	0.543		Vm = 63.744

Volumen de revoltura (calculado), L =	64.000
As (buscado), cm =	4.000
as (obtenido), cm =	2.500
Agua sobrante/aumentada =	0.000
P(horm+recip), g =	18093
Peso recip, g =	2373.200

Vol recip, [cm3] =	6974.000
PU horm, kg/m3 =	2.254
Rendimiento, l =	64.069
aire, % (calculado) =	0.507
aire, % (asumido) =	0.507
Vreal (producido), m3 =	64.069

Calculando la dosif operativa (DRE) para un volumen realmente producido Vreal		
verificación de cálculo, Kg	Agua	15.023
	Cemento	27.645
	Grava	61.188
	Arena	38.570

Probeta	Fecha de		Edad	Perímetro	Carga	Peso	Altura	PU	Resistencia [MPa]		códificación
	Vaciado	Ensayo							[días]	[cm]	
N°											
1	11-may-21	18-may-21	7	32.3	174.9	3824	20.2	2280	21.1	20.2	
2	11-may-21	18-may-21	7	32.0	157.9	3736	20.3	2258	19.4		
3	11-may-21	08-jun-21	28	32.6	200.7	3814	20.4	2211	23.7	24.0	
4	11-may-21	08-jun-21	28	32.8	208.6	3694	20.1	2147	24.4		

Probeta	Fecha de		Edad	Base de la viga	Carga	Peso	Altura de la viga	Longitud de la viga	PU	Resistencia [MPa]	
	Vaciado	Ensayo								[días]	[cm]
N°											
1	11-may-21	18-may-21	7	15.5	21.9	29016	15.2	53.6	2305	2.8	2.7
2	11-may-21	18-may-21	7	15.4	20.6	28981	15.2	53.4	2319	2.6	
3	11-may-21	08-jun-21	28	15.4	27.0	28981	15.2	53.6	2310	3.4	3.4
4	11-may-21	08-jun-21	28	15.4	26.2	28991	15.2	53.6	2311	3.3	

PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

9

Dosificación Nº: 7 Fibras: 15 [kg/m3] Espesor de fibra: 2 [mm]

CARACTERISTICAS:

MATERIAL	% humedad	% absorción	Pe	PUc	PUs
				kg/m3	kg/m3
Agua	***	***	1.000	1000.000	
Cemento	***	***	2.810	1407.000	
Grava	2.200	1.927	2.573	1569	1461
Arena	9.405	2.092	2.554	1571	1455
Aire tablas=			1.6		

INFORMACIÓN INICIAL

Resistencia característica [Mpa]	21
Resistencia media [Mpa]	26.20

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN NORMAL - ACI 211,1

Grava:	Hampaturi, chancado
Arena:	Chacoma
Cemento:	Viacha

DOSIFICACIÓN GRAVIMÉTRICA

Material	Base aprobada (firmada), kg/m3	Operativa seco	Dosificación operativa, Kg		Seco ejecutado, g	Volumenes absolutos materiales, L	Ajustada por PU, kg/m3	DRE, kg/m3	Volumen suelto seco, L	Observaciones
			Calculada	Ejecutada						
			Vr, m3 = 0.064000							
Agua	234.727	15.023	12.035	12.035	15.023	15.023	238.266	234.266	234.266	
Cemento	431.960	27.645	27.645	27.645	27.645	9.838	438.472	431.111	306.404	
Grava	956.065	61.188	62.534	62.534	61.188	23.781	954.186	954.186	653.103	
Arena	602.661	38.570	42.198	42.198	38.570	15.102	584.589	601.496	413.288	
TOTAL	2225.413	142.426	144.412	144.412	142.426	63.744	2215.513	2221.059	1607.061	
%G =	61.3						62.0	61.3		LOSA
%A =	38.7						38.0	38.7		Pm = 144.412
Relación a/c	0.543						0.543	0.543		Vm = 63.744

Volumen de revoltura (calculado), L =	64.000
As (buscado), cm =	4.000
as (obtenido), cm =	2.000
Agua sobrante/aumentada =	0.000
P(horm+recip), g =	18078
Peso recip, g =	2373.200

Vol recip, [cm3] =	6974.000
PU horm, kg/m3 =	2.252
Rendimiento, l =	64.126
aire, % (calculado) =	0.596
aire, % (asumido) =	0.596
Vreal (producido), m3 =	64.126

Calculando la dosif operativa (DRE) para un volumen realmente producido Vreal		
verificación de cálculo, Kg	Agua	15.023
	Cemento	27.645
	Grava	61.188
	Arena	38.570

Probeta	Fecha de		Edad	Perímetro	Carga	Peso	Altura	PU	Resistencia [MPa]		códificación
	Vaciado	Ensayo							[días]	[cm]	
N°											
1	27-may-21	03-jun-21	7	32.1	142.7	3789	20.1	2299	17.4	17.5	
2	27-may-21	03-jun-21	7	32.4	147.4	3713	19.5	2279	17.6		
3	27-may-21	24-jun-21	28	32.3	199.4	3811	20.3	2261	24.0	23.2	
4	27-may-21	24-jun-21	28	32.1	183.1	3722	20.1	2258	22.3		

Probeta	Fecha de		Edad	Base de la viga	Carga	Peso	Altura de la viga	Longitud de la viga	PU	Resistencia [MPa]	
	Vaciado	Ensayo								[días]	[cm]
N°											
1	27-may-21	03-jun-21	7	15.4	20.7	28939	15.2	53.6	2307	2.6	2.6
2	27-may-21	03-jun-21	7	15.4	20.6	29090	15.2	53.4	2327	2.6	
3	27-may-21	24-jun-21	28	15.4	24.1	28954	15.2	53.6	2308	3.0	3.1
4	27-may-21	24-jun-21	28	15.4	25.0	28980	15.2	53.6	2310	3.2	

PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

10

Dosificación Nº: 8 Fibras: 15 [kg/m3] Espesor de fibra: 2 [mm]

CARACTERISTICAS:

MATERIAL	% humedad	% absorción	Pe	PUc	PUs
				kg/m3	kg/m3
Agua	***	***	1.000	1000.000	
Cemento	***	***	2.810	1407.000	
Grava	2.280	1.927	2.573	1569	1461
Arena	16.000	2.092	2.554	1571	1455
Aire tablas=			1.6		

INFORMACIÓN INICIAL

Resistencia característica [Mpa]	21
Resistencia media [Mpa]	26.20

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN NORMAL - ACI 211,1

Grava:	Hampaturi, chancado
Arena:	Chacoma
Cemento:	Viacha

DOSIFICACIÓN GRAVIMÉTRICA

Material	Base aprobada (firmada), kg/m3	Operativa seco	Dosificación operativa, Kg		Seco ejecutado, g	Volumenes absolutos materiales, L	Ajustada por PU, kg/m3	DRE, kg/m3	Volumen suelto seco, L	Observaciones
			Calculada	Ejecutada						
Agua	234.727	15.023	9.442	9.442	15.023	15.023	237.850	233.850	233.850	
Cemento	431.960	27.645	27.645	27.645	27.645	9.838	437.707	430.346	305.861	
Grava	956.065	61.188	62.583	62.583	61.188	23.781	952.493	952.493	651.944	
Arena	602.661	38.570	44.742	44.742	38.570	15.102	583.522	600.428	412.555	
TOTAL	2225.413	142.426	144.412	144.412	142.426	63.744	2211.572	2217.117	1604.209	
%G =	61.3						62.0	61.3		LOSA
%A =	38.7						38.0	38.7		Pm = 144.412
Relación a/c	0.543						0.543	0.543		Vm = 63.744

Volumen de revoltura (calculado), L =	64.000
As (buscado), cm =	4.000
as (obtenido), cm =	2.000
Agua sobrante/aumentada =	0.000
P(horm+recip), g =	18048
Peso recip, g =	2373.200

Vol recip, [cm3] =	6974.000
PU horm, kg/m3 =	2.248
Rendimiento, l =	64.240
aire, % (calculado) =	0.772
aire, % (asumido) =	0.772
Vreal (producido), m3 =	64.240

Calculando la dosif operativa (DRE) para un volumen realmente producido Vreal		
verificación de cálculo, Kg	Agua	15.023
	Cemento	27.645
	Grava	61.188
	Arena	38.570

Probeta	Fecha de		Edad	Perímetro	Carga	Peso	Altura	PU	Resistencia [MPa]		códificación
	Vaciado	Ensayo							[días]	[cm]	
N°											
1	02-jun-21	09-jun-21	7	32.3	122.7	3786	20.0	2280	14.8	16.0	
2	02-jun-21	09-jun-21	7	32.0	141.0	3775	20.4	2271	17.3		
3	02-jun-21	30-jun-21	28	32.0	181.6	3766	20.1	2299	22.3	23.5	
4	02-jun-21	30-jun-21	28	32.2	203.5	3737	19.8	2287	24.7		

Probeta	Fecha de		Edad	Base de la viga	Carga	Peso	Altura de la viga	Longitud de la viga	PU	Resistencia [MPa]	
	Vaciado	Ensayo								[días]	[cm]
N°											
1	02-jun-21	09-jun-21	7	15.4	18.6	29057	15.2	53.6	2316	2.4	2.5
2	02-jun-21	09-jun-21	7	15.4	20.5	29206	15.2	53.4	2337	2.6	
3	02-jun-21	30-jun-21	28	15.3	25.0	28873	15.2	53.6	2316	3.2	3.3
4	02-jun-21	30-jun-21	28	15.2	26.7	29140	15.2	53.6	2353	3.4	

PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

11

Dosificación Nº: 9 Fibras: 15 [kg/m3] Espesor de fibra: 2 [mm]

CARACTERISTICAS:

MATERIAL	% humedad	% absorción	Pe	PUc	PUs
				kg/m3	kg/m3
Agua	***	***	1.000	1000.000	
Cemento	***	***	2.810	1407.000	
Grava	2.280	1.927	2.573	1569	1461
Arena	16.000	2.092	2.554	1571	1455
Aire tablas=			1.6		

INFORMACIÓN INICIAL

Resistencia característica [Mpa]	21
Resistencia media [Mpa]	26.20

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN NORMAL - ACI 211,1

Grava:	Hampaturi, chancado
Arena:	Chacoma
Cemento:	Viacha

DOSIFICACIÓN GRAVIMÉTRICA

Material	Base aprobada (firmada), kg/m3	Operativa seco	Dosificación operativa, Kg		Seco ejecutado, g	Volumenes absolutos materiales, L	Ajustada por PU, kg/m3	DRE, kg/m3	Volumen suelto seco, L	Observaciones
			Calculada	Ejecutada						
Agua	234.727	6.338	3.983	3.983	6.338	6.338	238.163	234.163	234.163	
Cemento	431.960	11.663	11.663	11.663	11.663	4.151	438.283	430.922	306.270	
Grava	956.065	25.814	26.402	26.402	25.814	10.033	953.769	953.769	652.817	
Arena	602.661	16.272	18.875	18.875	16.272	6.371	584.326	601.233	413.107	
TOTAL	2225.413	60.086	60.924	60.924	60.086	26.892	2214.541	2220.087	1606.358	
%G =	61.3						62.0	61.3		LOSA
%A =	38.7						38.0	38.7		Pm = 60.924
Relación a/c	0.543						0.543	0.543		Vm = 26.892

Volumen de revoltura (calculado), L =	27.000
As (buscado), cm =	4.000
as (obtenido), cm =	2.000
Agua sobrante/aumentada =	0.000
P(horm+recip), g =	18073
Peso recip, g =	2373.200

Vol recip, [cm3] =	6974.000
PU horm, kg/m3 =	2.251
Rendimiento, l =	27.065
aire, % (calculado) =	0.639
aire, % (asumido) =	0.639
Vreal (producido), m3 =	27.065

Calculando la dosif operativa (DRE) para un volumen realmente producido Vreal		
verificación de cálculo, Kg	Agua	6.338
	Cemento	11.663
	Grava	25.814
	Arena	16.272

Probeta	Fecha de		Edad	Perímetro	Carga	Peso	Altura	PU	Resistencia [MPa]		códificación
	Vaciado	Ensayo							[días]	[cm]	
N°											
1	02-jun-21	09-jun-21	7	32.0	135.5	3721	19.8	2306	16.6	16.7	
2	02-jun-21	09-jun-21	7	31.9	136.1	3778	20.4	2287	16.8		
3	02-jun-21	30-jun-21	28	32.2	194.7	3767	20.0	2283	23.6	23.5	
4	02-jun-21	30-jun-21	28	32.3	194.7	3848	20.2	2295	23.5		

Probeta	Fecha de		Edad	Base de la viga	Carga	Peso	Altura de la viga	Longitud de la viga	PU	Resistencia [MPa]	
	Vaciado	Ensayo								[días]	[cm]
N°											
1	02-jun-21	09-jun-21	7	15.4	19.4	29057	15.2	53.6	2316	2.4	2.4
2	02-jun-21	09-jun-21	7	15.4	19.2	28906	15.2	53.4	2313	2.4	
3	02-jun-21	30-jun-21	28	15.4	24.7	28913	15.2	53.6	2304	3.1	3.1
4	02-jun-21	30-jun-21	28	15.4	23.9	29152	15.2	53.6	2323	3.0	

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES FAULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA CIVIL	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. HUGO MANSILLA ROMERO" ANEXO: 2
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido	Planilla : 12

Dosificación Nº: 10 Fibras: 15 [kg/m³] Espesor de fibra: 2 [mm]

CARACTERISTICAS:

MATERIAL	% humedad	% absorción	Pe	PUc	PUc
				kg/m ³	kg/m ³
Agua	***	***	1.000	1000.000	
Cemento	***	***	2.810	1407.000	
Grava	2.770	1.927	2.573	1569	1461
Arena	13.510	2.092	2.554	1571	1455
Aire tablas=			1.6		

INFORMACIÓN INICIAL

Resistencia característica [Mpa]	21
Resistencia media [Mpa]	26.20

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN NORMAL - ACI 211,1

Grava:	Hampaturi, chancado
Arena:	Chacoma
Cemento:	Viacha

DOSIFICACIÓN GRAVIMÉTRICA

Material	Base aprobada (firmada), kg/m ³	Operativa seco	Dosificación operativa, Kg		Seco ejecutado, g	Volumenes absolutos materiales, L	Ajustada por PU, kg/m ³	DRE, kg/m ³	Volumen suelto seco, L	Observaciones
			Vr, m ³ = 0.027000 Vr (producido), m ³ = 0.02707700							
			Calculada	Ejecutada						
Agua	234.727	6.338	4.262	4.262	6.338	6.338	238.059	234.059	234.059	
Cemento	431.960	11.663	11.663	11.663	11.663	4.151	438.092	430.731	306.134	
Grava	956.065	25.814	26.529	26.529	25.814	10.033	953.346	953.346	652.528	
Arena	602.661	16.272	18.470	18.470	16.272	6.371	584.060	600.966	412.924	
TOTAL	2225.413	60.086	60.924	60.924	60.086	26.892	2213.557	2219.103	1605.646	
%G =	61.3						62.0	61.3		LOSA
%A =	38.7						38.0	38.7		Pm = 60.924
Relación a/c	0.543						0.543	0.543		Vm = 26.892

Volumen de revoltura (calculado), L =	27.000
As (buscado), cm =	4.000
as (obtenido), cm =	2.000
Agua sobrante/aumentada =	0.000
P(horm+recip), g =	18062
Peso recip, g =	2373.200

Vol recip, [cm ³] =	6974.000
PU horm, kg/m ³ =	2.250
Rendimiento, l =	27.077
aire, % (calculado) =	0.683
aire, % (asumido) =	0.683
Vreal (producido), m ³ =	27.077

Calculando la dosif operativa (DRE) para un volumen realmente producido Vreal		
verificación de cálculo, Kg	Agua	6.338
	Cemento	11.663
	Grava	25.814
	Arena	16.272

Probeta	Fecha de		Edad	Perímetro	Carga	Peso	Altura	PU	Resistencia [MPa]		Observaciones
	Vaciado	Ensayo							[días]	[cm]	
N°											
1	08-jun-21	15-jun-21	7	32.0	149.7	3768	20.2	2289	18.4	17.8	
2	08-jun-21	15-jun-21	7	32.2	142.3	3791	19.9	2309	17.2		
3	08-jun-21	06-jul-21	28	32.3	198.6	3719	19.7	2274	23.9	24.6	
4	08-jun-21	06-jul-21	28	32.2	207.8	3740	19.7	2301	25.2		

Probeta	Fecha de		Edad	Base de la viga	Carga	Peso	Altura de la viga	Longitud de la viga	PU	Resistencia [MPa]	
	Vaciado	Ensayo								[días]	[cm]
N°											
1	08-jun-21	15-jun-21	7	15.4	20.4	28957	15.2	53.6	2308	2.6	2.7
2	08-jun-21	15-jun-21	7	15.4	21.7	29035	15.2	53.4	2323	2.7	
3	08-jun-21	06-jul-21	28	15.4	23.7	29042	15.2	53.6	2315	3.0	3.1
4	08-jun-21	06-jul-21	28	15.4	25.6	29069	15.2	53.6	2317	3.2	

PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

13

ENSAYOS A COMPRESION

N°	CÓDIGO	FECHA VACIADO	FECHA ROTURA	PESO [g]	ALTURA [cm]	PERIM. [cm]	CARGA [KN]	EDAD [días]	RESIST. [MPa]	PROM. [MPa]	% INCREM.
0	Sin Fibras	25-may	01-jun	3750	19.8	31.9	153	7	18.9	19.04	0.00
		25-may	01-jun	3798.2	20.2	32	156.3	7	19.2		
		25-may	22-jun	3820.2	20.1	32.2	202.6	28	24.6	25.44	0.00
		25-may	22-jun	3755.2	19.7	32.2	217.2	28	26.3		
1	2mm-5 [kg/m3]	19-may	26-may	3750.4	19.7	32.2	190.6	7	23.1	22.69	19.19
		19-may	26-may	3775	19.9	32.1	182.7	7	22.3		
		19-may	16-jun	3851.9	20.1	32.2	217.3	28	26.3	27.10	6.54
		19-may	16-jun	3797.1	20.1	32	227.1	28	27.9		
2	3mm-10 [kg/m3]	20-may	27-may	3831.5	20.1	32.2	164.1	7	19.9	19.92	4.65
		20-may	27-may	3745.2	19.7	32.3	165.7	7	20.0		
		20-may	17-jun	3785.5	20.1	32.1	204.7	28	25.0	24.64	-3.13
		20-may	17-jun	3817.1	32.1	32	198.2	28	24.3		
3	3mm-20 [kg/m3]	06-may	13-may	3769.6	20.2	32	133.4	7	16.4	16.72	-12.16
		06-may	13-may	3755.5	20	32.1	140	7	17.1		
		06-may	03-jun	3672.8	19.7	32.1	182	28	22.2	21.29	-16.32
		06-may	03-jun	3785.9	20.2	32.3	169.2	28	20.4		
4	2mm-25 [kg/m3]	05-may	12-may	3784.7	20.1	32.3	132.8	7	16.0	14.86	-21.92
		05-may	12-may	3741.1	20.2	32.1	112.6	7	13.7		
		05-may	02-jun	3702.03	20	32.1	170.7	28	20.8	21.65	-14.90
		05-may	02-jun	3823.3	20.2	32.2	185.5	28	22.5		
5	1mm-20 [kg/m3]	13-may	20-may	3733.3	20.7	32.4	137.1	7	16.4	16.57	-12.96
		13-may	20-may	3764.9	20.2	32.9	144.1	7	16.7		
		13-may	10-jun	3764.4	19.9	32.1	168.2	28	20.5	21.25	-16.47
		13-may	10-jun	3763.5	19.8	32.1	180.3	28	22.0		
6	1mm-10 [kg/m3]	11-may	18-may	3823.5	20.2	32.3	174.9	7	21.1	20.22	6.22
		11-may	18-may	3735.8	20.3	32	157.9	7	19.4		
		11-may	08-jun	3814.4	20.4	32.6	200.7	28	23.7	24.05	-5.47
		11-may	08-jun	3694.1	20.1	32.8	208.6	28	24.4		
7	2mm-15 [kg/m3]	27-may	03-jun	3789.4	20.1	32.1	142.7	7	17.403	17.52	-7.95
		27-may	03-jun	3713.1	19.5	32.4	147.4	7	17.645		
		27-may	24-jun	3810.5	20.3	32.3	199.4	28	24.018	23.17	-8.91
		27-may	24-jun	3721.8	20.1	32.1	183.1	28	22.33		
8	2mm-15 [kg/m3]	02-jun	09-jun	3785.5	20	32.3	122.7	7	14.779	16.04	-15.74
		02-jun	09-jun	3774.6	20.4	32	141	7	17.303		
		02-jun	30-jun	3765.5	20.1	32	181.6	28	22.286	23.48	-7.72
		02-jun	30-jun	3736.7	19.8	32.2	203.5	28	24.664		
9	2mm-15 [kg/m3]	02-jun	09-jun	3721.1	19.8	32	135.5	7	16.6	16.72	-12.19
		02-jun	09-jun	3777.8	20.4	31.9	136.1	7	16.8		
		02-jun	30-jun	3767.2	20	32.2	194.7	28	23.6	23.52	-7.53
		02-jun	30-jun	3848	20.2	32.3	194.7	28	23.5		
10	2mm-15 [kg/m3]	08-jun	15-jun	3768	20.2	32	149.7	7	18.4	17.81	-6.45
		08-jun	15-jun	3790.6	19.9	32.2	142.3	7	17.2		
		08-jun	06-jul	3718.7	19.7	32.3	198.6	28	23.9	24.55	-3.48
		08-jun	06-jul	3739.5	19.7	32.2	207.8	28	25.2		

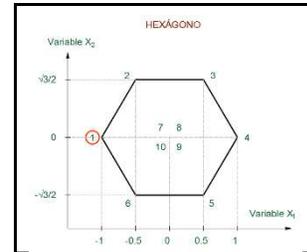
UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES FAULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA CIVIL	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. HUGO MANSILLA ROMERO" ANEXO: 2
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido	Planilla : 14

ENSAYOS A FLEXION

Nº	CÓDIGO	FECHA VACIADO	FECHA ROTURA	PESO [g]	ALTURA [cm]	BASE. [cm]	CARGA [KN]	EDAD [dias]	RESIST. [MPa]	PROM. [MPa]	% INCREM.
0	Sin Fibras	25-may	01-jun	29348	15.2	15.4	20.95	7	2.65	2.69	
		25-may	01-jun	29303	15.2	15.4	21.60	7	2.73		
		25-may	22-jun	29192	15.2	15.4	26.00	28	3.29	3.36	
		25-may	22-jun	29469	15.2	15.4	27.20	28	3.44		
1	2mm-5 [kg/m3]	19-may	26-may	29305	15.25	15.4	22.20	7	2.8	2.77	2.83
		19-may	26-may	29291	15.2	15.4	21.70	7	2.7		
		19-may	16-jun	29081	15.25	15.4	26.95	28	3.4	3.51	
		19-may	16-jun	29045	15.2	15.35	28.60	28	3.6		
2	3mm-10 [kg/m3]	20-may	27-may	29105	15.25	15.4	21.70	7	2.7	2.82	4.95
		20-may	27-may	29121	15.2	15.4	23.10	7	2.9		
		20-may	17-jun	29378	15.2	15.4	26.65	28	3.4	3.33	
		20-may	17-jun	29368	15.3	15.4	26.40	28	3.3		
3	3mm-20 [kg/m3]	06-may	13-may	29031	15.2	15.45	21.80	7	2.7	2.63	-2.40
		06-may	13-may	28754	15.2	15.4	19.80	7	2.5		
		06-may	03-jun	28863	15.25	15.4	25.05	28	3.1	3.07	
		06-may	03-jun	28960	15.2	15.4	23.65	28	3.0		
4	2mm-25 [kg/m3]	05-may	12-may	28783	15.2	15.4	21.25	7	2.7	2.79	3.52
		05-may	12-may	28801	15	15.4	22.20	7	2.9		
		05-may	02-jun	28741	15.25	15.3	28.55	28	3.6	3.38	
		05-may	02-jun	28462	15.2	15.3	24.70	28	3.1		
5	1mm-20 [kg/m3]	13-may	20-may	28886	15.2	15.4	20.15	7	2.5	2.55	-5.29
		13-may	20-may	28740	15.2	15.4	20.15	7	2.5		
		13-may	10-jun	28739	15.2	15.4	23.35	28	3.0	3.16	
		13-may	10-jun	28859	15.25	15.4	26.80	28	3.4		
6	1mm-10 [kg/m3]	11-may	18-may	29016	15.2	15.45	21.85	7	2.8	2.68	-0.40
		11-may	18-may	28981	15.2	15.4	20.60	7	2.6		
		11-may	08-jun	28981	15.2	15.4	27.00	28	3.4	3.36	
		11-may	08-jun	28991	15.2	15.4	26.15	28	3.3		
7	2mm-15 [kg/m3]	27-may	03-jun	28939	15.2	15.4	20.70	7	2.6	2.61	-3.06
		27-may	03-jun	29090	15.2	15.4	20.55	7	2.6		
		27-may	24-jun	28954	15.2	15.4	24.10	28	3.0	3.10	
		27-may	24-jun	28980	15.2	15.4	24.95	28	3.2		
8	2mm-15 [kg/m3]	02-jun	09-jun	29057	15.2	15.4	18.60	7	2.4	2.5	-8.2
		02-jun	09-jun	29206	15.2	15.4	20.45	7	2.6		
		02-jun	30-jun	28873	15.2	15.3	25.00	28	3.2	3.3	
		02-jun	30-jun	29140	15.2	15.2	26.70	28	3.4		
9	2mm-15 [kg/m3]	02-jun	09-jun	29057	15.2	15.4	19.35	7	2.4	2.44	-9.40
		02-jun	09-jun	28906	15.2	15.4	19.20	7	2.4		
		02-jun	30-jun	28913	15.2	15.4	24.65	28	3.1	3.07	
		02-jun	30-jun	29152	15.2	15.4	23.85	28	3.0		
10	2mm-15 [kg/m3]	08-jun	15-jun	28957	15.2	15.4	20.40	7	2.6	2.66	-1.18
		08-jun	15-jun	29035	15.2	15.4	21.65	7	2.7		
		08-jun	06-jul	29042	15.2	15.4	23.70	28	3.0	3.11	
		08-jun	06-jul	29069	15.2	15.4	25.55	28	3.2		

ENSAYO DE FLEXIÓN ASTM C1609-10

Revoltura :	1
Ancho [mm] :	2 mm
Dosificación [Kg/m ³] :	5 Kg/m ³



Fecha de vaciado:	Fecha de rotura:	Edad:	Peso [kg]	Base [mm]	Altura [mm]	P _P [KN]	P _{D150} [KN]	f _P [Mpa]	f _{D300} [Mpa]	R _{e,3} [%]
19/05/2021	26/05/2021	7	29.291	154	152	18.75	3.65	2.3714	0.4616	19.47



Carga [KN]	Def. [mm]	Area
0	0	0
2	0.005	0.015
4	0.009	0.020
6	0.015	0.042
8	0.018	0.027
10	0.023	0.055
12	0.028	0.065
14	0.033	0.075
16	0.039	0.102
18	0.046	0.133
18.75	0.063	0.325
3.45	0.063	0.000
3.45	2.52	8.477
3.6	2.7	0.662
3.65	2.9	0.735
3.65	3	0.365
Total [J]		11.097
Tenacidad [J]		

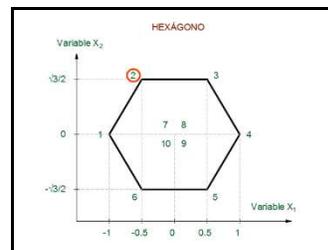
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

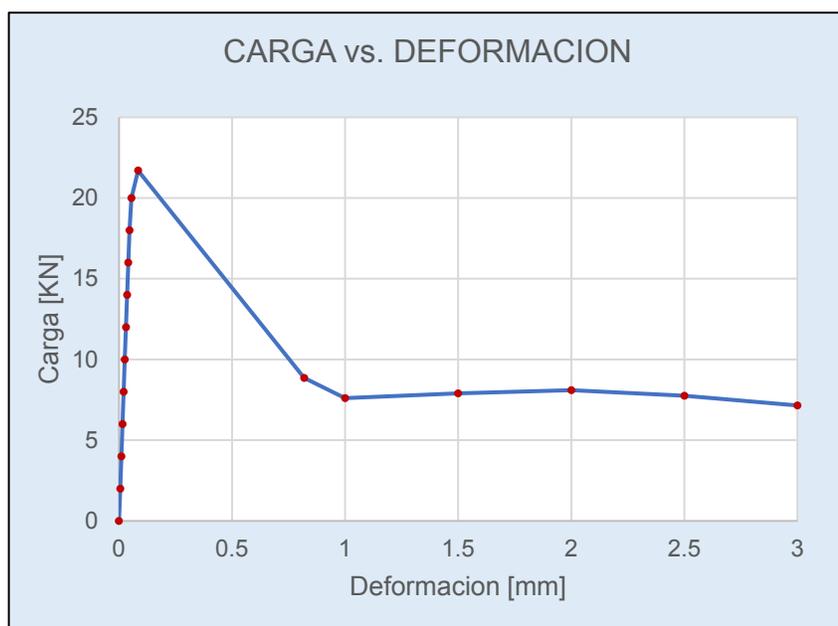
17

ENSAYO DE FLEXIÓN ASTM C1609-10

Revoltura :	2
Ancho [mm] :	3 mm
Dosificación [Kg/m ³] :	10 Kg/m ³



Fecha de vaciado:	Fecha de rotura:	Edad:	Peso [kg]	Base [mm]	Altura [mm]	P _P [KN]	P _{D150} [KN]	f _P [Mpa]	f _{D300} [Mpa]	R _{e,3} [%]
20/05/2021	27/05/2021	7	29.105	154	152.5	21.7	7.15	2.7265	0.8984	32.95



Carga [KN]	Def. [mm]	Area
0	0	0
2	0.006	0.018
4	0.011	0.025
6	0.016	0.035
8	0.021	0.045
10	0.026	0.055
12	0.031	0.065
14	0.036	0.075
16	0.041	0.085
18	0.047	0.114
20	0.055	0.168
21.7	0.085	0.677
8.85	0.819	11.212
7.6	1	1.489
7.9	1.5	4.025
8.1	2	4.100
7.75	2.5	3.963
7.15	3	3.725
Total [J]		29.8746
Tenacidad [J]		

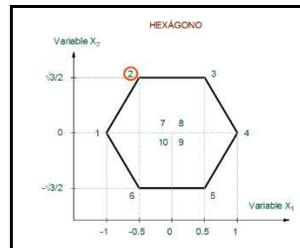
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

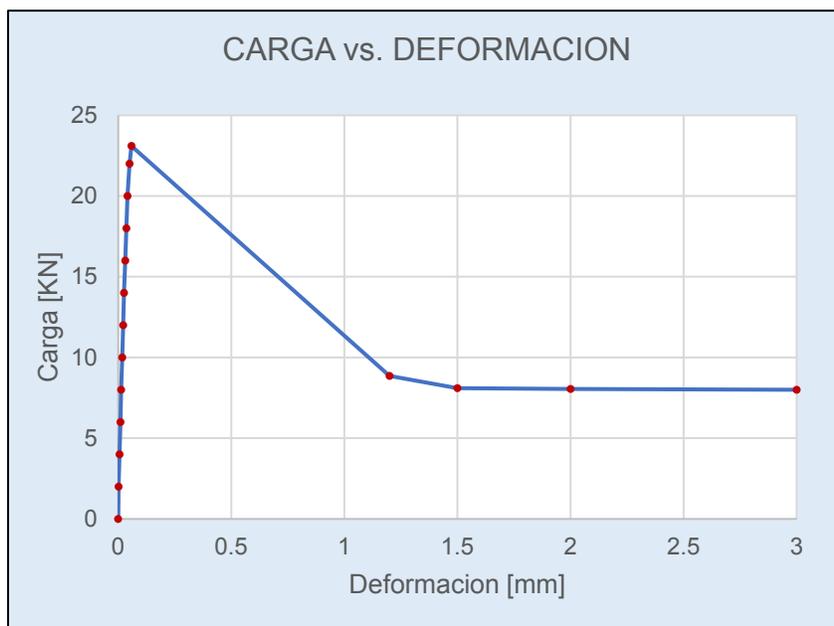
18

ENSAYO DE FLEXIÓN ASTM C1609-10

Revoltura :	2
Ancho [mm] :	3 mm
Dosificación [Kg/m ³] :	10 Kg/m ³



Fecha de vaciado:	Fecha de rotura:	Edad:	Peso [kg]	Base [mm]	Altura [mm]	P _p [KN]	P _{D150} [KN]	f _p [Mpa]	f _{D300} [Mpa]	R _{e,3} [%]
20/05/2021	27/05/2021	7	29.121	154	152	23.1	8	2.9216	1.0118	34.63



Carga [KN]	Def. [mm]	Area
0	0	0
2	0.002	0.006
4	0.006	0.020
6	0.01	0.028
8	0.013	0.027
10	0.018	0.055
12	0.022	0.052
14	0.026	0.060
16	0.031	0.085
18	0.036	0.095
20	0.041	0.105
22	0.05	0.207
23.1	0.059	0.213
8.85	1.2	18.227
8.1	1.5	2.543
8.05	2	4.038
8	3	8.025
Total [J]		33.785
Tenacidad [J]		

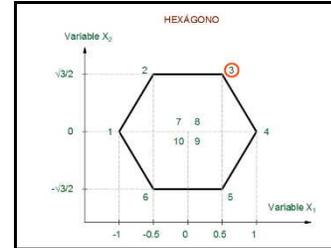
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

19

ENSAYO DE FLEXIÓN ASTM C1609-10

Revolvura :	3
Ancho [mm] :	3 mm
Dosificación [Kg/m ³] :	20 Kg/m3



Fecha de vaciado:	Fecha de rotura:	Edad:	Peso [kg]	Base [mm]	Altura [mm]	P _p [KN]	P _{D150} [KN]	f _p [Mpa]	f _{D300} [Mpa]	R _{e,3} [%]
06/05/2021	13/05/2021	7	29.031	154.5	152	21.8	14.3	2.7482	1.8027	65.60



Carga [KN]	Def. [mm]	Area
0	0	0
2	0.005	0.015
4	0.009	0.020
6	0.015	0.042
8	0.021	0.054
10	0.026	0.055
12	0.031	0.065
14	0.037	0.090
16	0.043	0.102
18	0.049	0.114
20	0.056	0.147
21.8	0.156	2.270
15.65	0.471	5.898
14.65	0.75	4.227
14.75	1	3.700
14.9	1.5	7.488
14.65	2	7.388
14.6	2.5	7.313
14.3	3	7.225
Total [J]		46.2117
Tenacidad [J]		

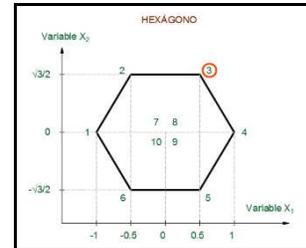
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con microfibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

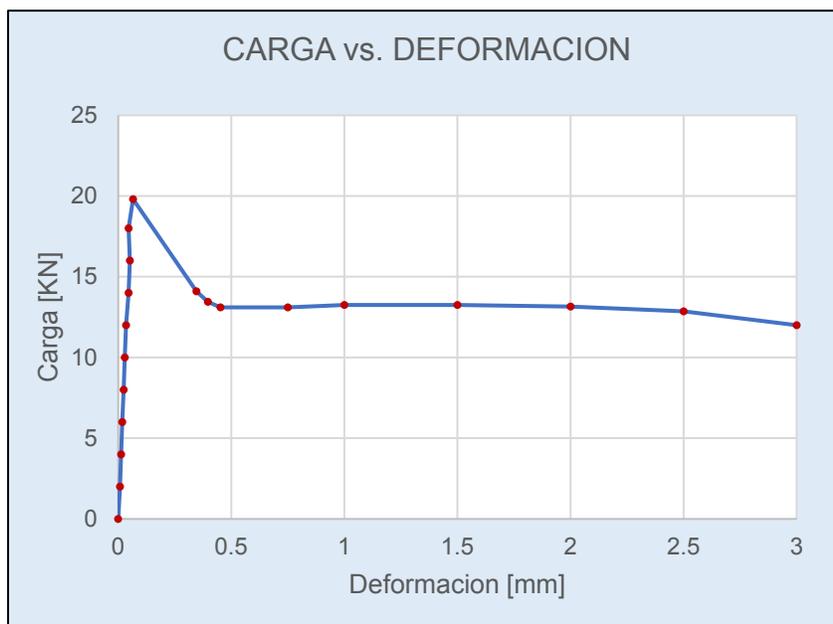
20

ENSAYO DE FLEXIÓN ASTM C1609-10

Revoltura :	3
Ancho [mm] :	3 mm
Dosificación [Kg/m ³] :	20 Kg/m ³



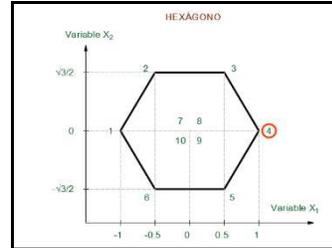
Fecha de vaciado:	Fecha de rotura:	Edad:	Peso [kg]	Base [mm]	Altura [mm]	P _p [KN]	P _{D150} [KN]	f _p [Mpa]	f _{D300} [Mpa]	R _{e,3} [%]
06/05/2021	13/05/2021	7	28.754	154	152	19.8	12	2.5042	1.5177	60.61



Carga [KN]	Def. [mm]	Area
0	0	0
2	0.008	0.024
4	0.013	0.025
6	0.018	0.035
8	0.024	0.054
10	0.029	0.055
12	0.035	0.078
14	0.046	0.165
16	0.052	0.102
18	0.046	-0.102
19.8	0.066	0.414
14.1	0.346	4.746
13.45	0.397	0.703
13.1	0.452	0.730
13.1	0.75	3.904
13.25	1	3.331
13.25	1.5	6.625
13.15	2	6.600
12.85	2.5	6.500
12	3	6.213
Total [J]		40.201
Tenacidad [J]		

ENSAYO DE FLEXIÓN ASTM C1609-10

Revoltura :	4
Ancho [mm] :	2 mm
Dosificación [Kg/m ³] :	25 Kg/m3



Fecha de vaciado:	Fecha de rotura:	Edad:	Peso [kg]	Base [mm]	Altura [mm]	P _p [KN]	P _{D150} [KN]	f _p [Mpa]	f _{D300} [Mpa]	R _{e,3} [%]
05/05/2021	12/05/2021	7	28.783	154	152	21.25	15.3	2.6876	1.9351	72.00



Carga [KN]	Def. [mm]	Area
0	0	0
2	0.009	0.027
4	0.009	0.000
6	0.012	0.021
8	0.018	0.054
10	0.021	0.033
12	0.027	0.078
14	0.031	0.060
16	0.037	0.102
18	0.042	0.095
20	0.048	0.126
21.25	0.097	1.072
17.8	0.228	2.558
17	0.417	3.289
16.65	0.75	5.603
15.9	1	4.069
15.15	2	15.525
15	2.712	10.733
15.3	3	4.450
Total [J]		47.8937
Tenacidad [J]		

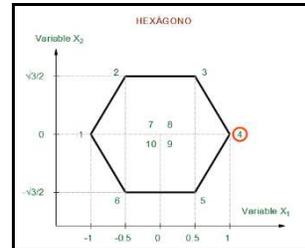
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

22

ENSAYO DE FLEXIÓN ASTM C1609-10

Revoltura :	4
Ancho [mm] :	2 mm
Dosificación [Kg/m ³] :	25 Kg/m ³



Fecha de vaciado:	Fecha de rotura:	Edad:	Peso [kg]	Base [mm]	Altura [mm]	P _P [KN]	P _{D150} [KN]	f _P [Mpa]	f _{D300} [Mpa]	R _{e,3} [%]
05/05/2021	12/05/2021	7	28.801	154	150	22.2	14.85	2.8831	1.9286	66.89



Carga [KN]	Def. [mm]	Area
0	0	0
2	0.004	0.012
4	0.008	0.020
6	0.012	0.028
8	0.016	0.036
10	0.021	0.055
12	0.026	0.065
14	0.031	0.075
16	0.036	0.085
18	0.041	0.095
20	0.05	0.189
22	0.056	0.138
22.2	0.096	0.892
20	0.349	5.338
17.1	0.5	2.801
17.1	0.75	4.275
16.95	1	4.256
16.4	1.5	8.338
15.95	2	8.088
15.25	2.5	7.800
14.85	3	7.525
Total [J]		50.111
Tenacidad [J]		

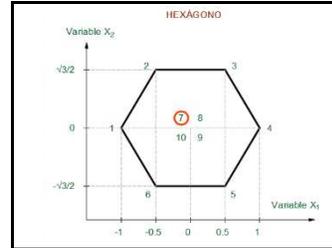
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

27

ENSAYO DE FLEXIÓN ASTM C1609-10

Revoltura :	7
Ancho [mm] :	2 mm
Dosificación [Kg/m ³] :	15 Kg/m ³



Fecha de vaciado:	Fecha de rotura:	Edad:	Peso [kg]	Base [mm]	Altura [mm]	P _p [kN]	P _{D150} [kN]	f _p [Mpa]	f _{D300} [Mpa]	R _{e,3} [%]
27/05/2021	03/06/2021	7	28.939	154	152	20.7	10.35	2.618	1.309	50.00



Carga [kN]	Def. [mm]	Area
0	0	0
2	0	0.000
4	0.003	0.015
6	0.006	0.021
8	0.011	0.045
10	0.015	0.044
12	0.022	0.091
14	0.026	0.060
16	0.033	0.119
18	0.039	0.114
20	0.048	0.189
20.7	0.061	0.274
12.4	0.61	9.086
11.05	0.75	1.642
11.25	1	2.838
11.5	1.5	5.813
11.2	2	5.675
10.95	2.5	5.538
10.35	3	5.325
Total [J]		36.8866
Tenacidad [J]		

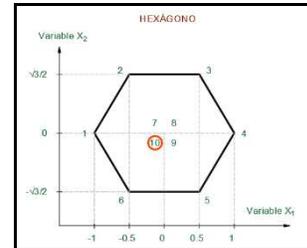
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

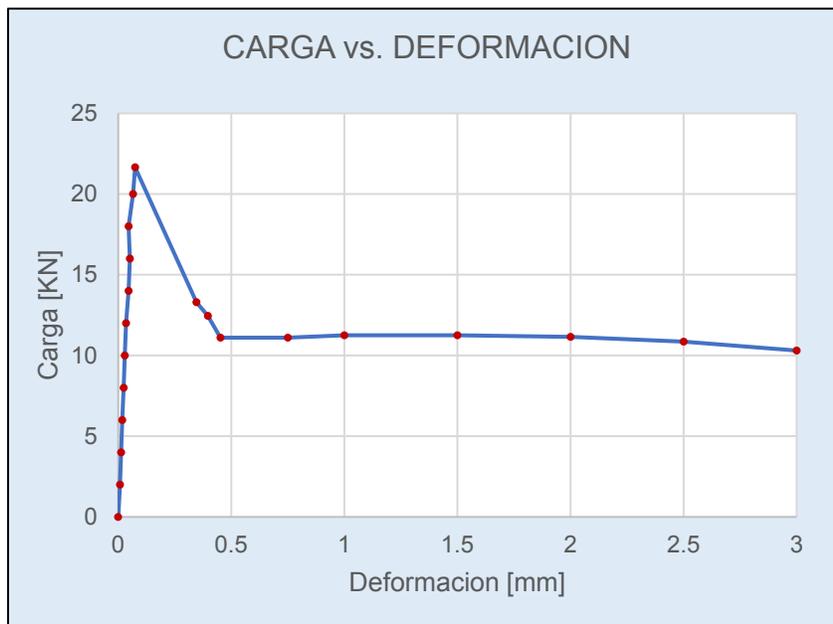
34

ENSAYO DE FLEXIÓN ASTM C1609-10

Revoltura :	10
Ancho [mm] :	2 mm
Dosificación [Kg/m ³] :	15 Kg/m ³



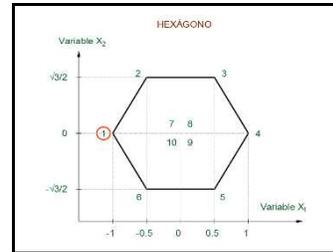
Fecha de vaciado:	Fecha de rotura:	Edad:	Peso [kg]	Base [mm]	Altura [mm]	P _p [KN]	P _{D150} [KN]	f _p [Mpa]	f _{D300} [Mpa]	R _{e,3} [%]
08/06/2021	15/06/2021	7	29.035	154	152	21.65	10.3	2.7382	1.3027	47.58



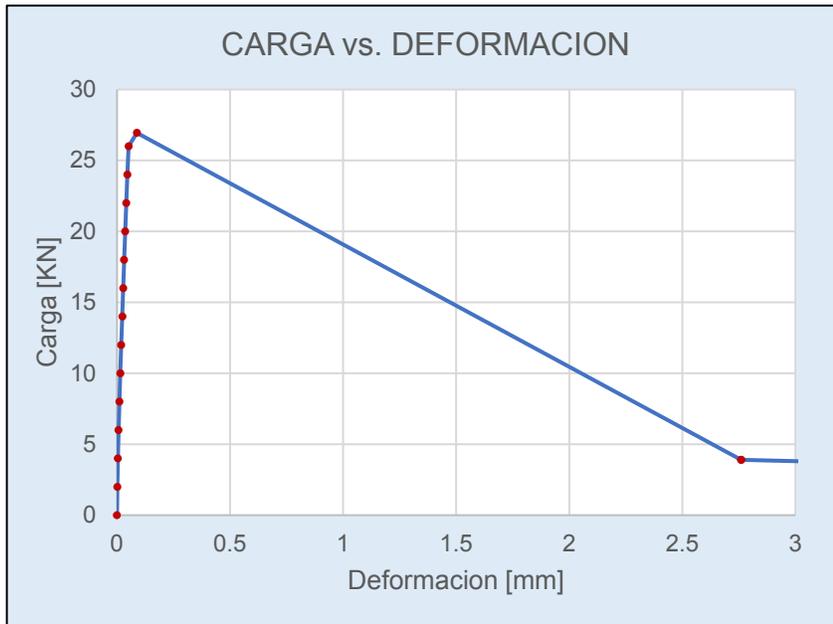
Carga [KN]	Def. [mm]	Area
0	0	0
2	0.008	0.024
4	0.013	0.025
6	0.018	0.035
8	0.024	0.054
10	0.029	0.055
12	0.035	0.078
14	0.046	0.165
16	0.052	0.102
18	0.046	-0.102
20	0.066	0.420
21.65	0.075	0.202
13.3	0.346	4.736
12.45	0.397	0.657
11.1	0.452	0.648
11.1	0.75	3.308
11.25	1	2.831
11.25	1.5	5.625
11.15	2	5.600
10.85	2.5	5.500
10.3	3	5.288
Total [J]		35.25
Tenacidad [J]		

ENSAYO DE FLEXIÓN ASTM C1609-10

Revoltura :	1
Ancho [mm] :	2 mm
Dosificación [Kg/m ³] :	5 Kg/m ³



Fecha de vaciado:	Fecha de rotura:	Edad:	Peso [kg]	Base [mm]	Altura [mm]	P _P [KN]	P _{D150} [KN]	f _P [Mpa]	f _{D300} [Mpa]	R _{e,3} [%]
19/05/2021	16/06/2021	28	29.081	154	152.5	26.95	3.45	3.3862	0.4335	12.80



Carga [KN]	Def. [mm]	Area
0	0	0
2	0.002	0.006
4	0.004	0.010
6	0.007	0.021
8	0.011	0.036
10	0.015	0.044
12	0.019	0.052
14	0.024	0.075
16	0.028	0.068
18	0.031	0.057
20	0.036	0.105
22	0.041	0.115
24	0.046	0.125
26	0.052	0.162
26.95	0.088	0.987
3.9	2.76	41.216
3.9	2.76	0.000
3.45	3.9	4.190
Total [J]	47.2684	
Tenacidad [J]		

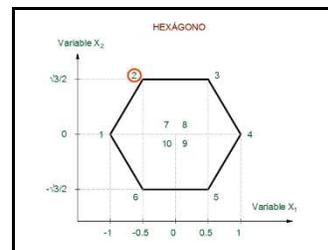
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

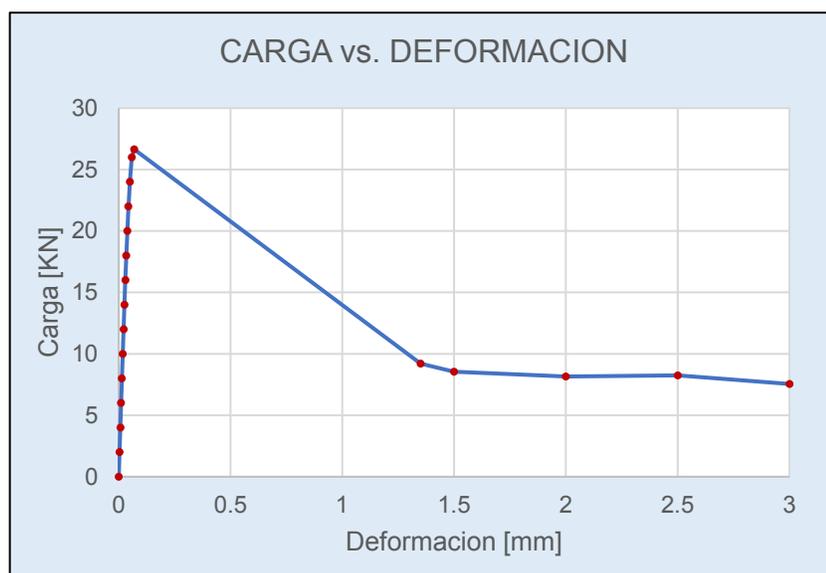
37

ENSAYO DE FLEXIÓN ASTM C1609-10

Revoltura :	2
Ancho [mm] :	3 mm
Dosificación [Kg/m ³] :	10 Kg/m ³



Fecha de vaciado:	Fecha de rotura:	Edad:	Peso [kg]	Base [mm]	Altura [mm]	P _p [KN]	P _{D150} [KN]	f _p [Mpa]	f _{D300} [Mpa]	R _{e,3} [%]
20/05/2021	17/06/2021	28	29.378	154	152	26.65	7.55	3.3706	0.9549	28.33

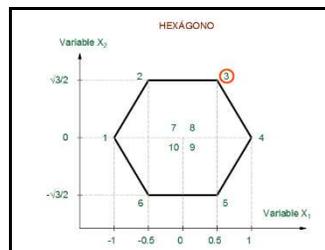


Carga [KN]	Def. [mm]	Area
0	0	0
2	0.004	0.012
4	0.008	0.020
6	0.01	0.014
8	0.014	0.036
10	0.018	0.044
12	0.022	0.052
14	0.026	0.060
16	0.03	0.068
18	0.034	0.076
20	0.039	0.105
22	0.043	0.092
24	0.05	0.175
26	0.059	0.243
26.65	0.069	0.270
9.2	1.35	22.962
8.55	1.5	1.331
8.15	2	4.175
8.25	2.5	4.150
7.55	3	3.950
Total [J]		37.8349
Tenacidad [J]		

PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

ENSAYO DE FLEXIÓN ASTM C1609-10

Revoltura :	3
Ancho [mm] :	3 mm
Dosificación [Kg/m ³] :	20 Kg/m3



Fecha de vaciado:	Fecha de rotura:	Edad:	Peso [kg]	Base [mm]	Altura [mm]	P _P [KN]	P _{D150} [KN]	f _P [Mpa]	f _{D300} [Mpa]	R _{e,3} [%]
06/05/2021	03/06/2021	28	28.863	154	152.5	23.65	11.45	2.9716	1.4387	48.41



Carga [KN]	Def. [mm]	Area
0	0	0
2	0.007	0.021
4	0.012	0.025
6	0.017	0.035
8	0.022	0.045
10	0.027	0.055
12	0.031	0.052
14	0.036	0.075
16	0.042	0.102
18	0.047	0.095
20	0.052	0.105
22	0.062	0.230
23.65	0.095	0.808
12.35	0.902	14.526
11.7	1	1.178
11.4	1.5	5.775
11.4	2	5.700
11.4	2.5	5.700
11.45	3	5.738
Total [J]		40.2646
Tenacidad [J]		

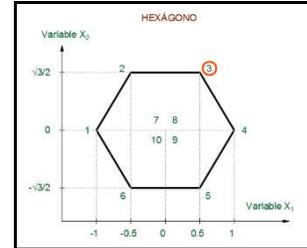
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

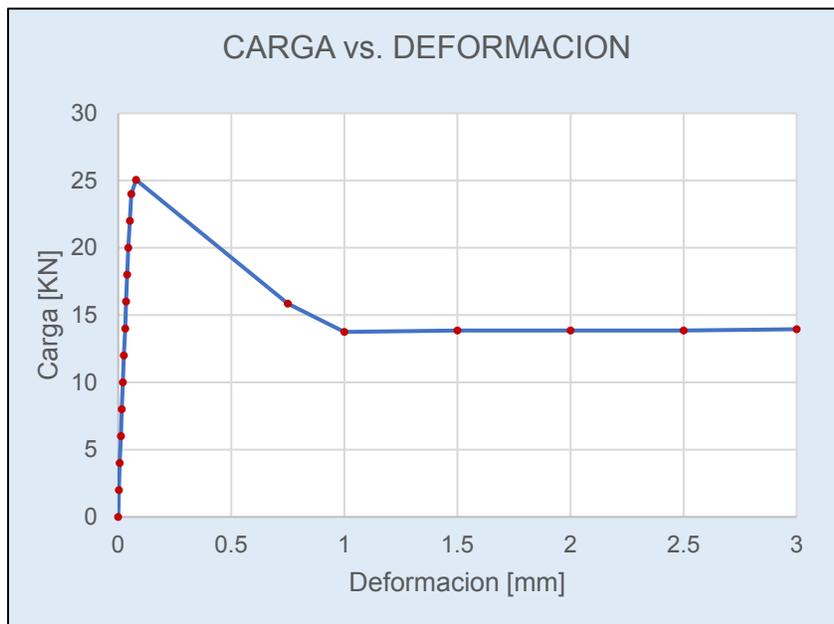
40

ENSAYO DE FLEXIÓN ASTM C1609-10

Revoltura :	3
Ancho [mm] :	3 mm
Dosificación [Kg/m^3] :	20 Kg/m^3



Fecha de vaciado:	Fecha de rotura:	Edad:	Peso [kg]	Base [mm]	Altura [mm]	P_P [KN]	P_{D150} [KN]	f_P [Mpa]	f_{D300} [Mpa]	$R_{e,3}$ [%]
06/05/2021	03/06/2021	28	28.96	154	152	25.05	13.95	3.1682	1.7643	55.69



Carga [KN]	Def. [mm]	Area
0	0	0
2	0.003	0.009
4	0.007	0.020
6	0.012	0.035
8	0.016	0.036
10	0.021	0.055
12	0.025	0.052
14	0.031	0.090
16	0.035	0.068
18	0.04	0.095
20	0.045	0.105
22	0.052	0.161
24	0.058	0.150
25.05	0.079	0.537
15.85	0.75	13.722
13.75	1	3.700
13.85	1.5	6.950
13.85	2	6.925
13.85	2.5	6.925
13.95	3	7.000
Total [J]	46.635	
Tenacidad [J]		

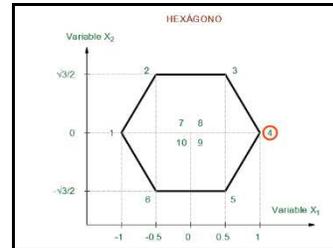
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

41

ENSAYO DE FLEXIÓN ASTM C1609-10

Revoltura :	4
Ancho [mm] :	2 mm
Dosificación [Kg/m ³] :	25 Kg/m ³



Fecha de vaciado:	Fecha de rotura:	Edad:	Peso [kg]	Base [mm]	Altura [mm]	P _P [KN]	P _{D150} [KN]	f _P [Mpa]	f _{D300} [Mpa]	R _{e,3} [%]
05/05/2021	02/06/2021	28	28.741	153	152.5	28.55	18.2	3.6107	2.3017	63.75



Carga [KN]	Def. [mm]	Area
0	0	0
2	0.002	0.006
4	0.007	0.025
6	0.01	0.021
8	0.014	0.036
10	0.018	0.044
12	0.023	0.065
14	0.027	0.060
16	0.032	0.085
18	0.037	0.095
20	0.041	0.084
22	0.048	0.161
24	0.054	0.150
26	0.065	0.297
28	0.085	0.580
28.55	0.101	0.461
20.5	0.653	13.538
18.55	0.75	1.894
18.8	1	4.731
19.05	1.5	9.588
19	2	9.513
18.7	2.5	9.425
18.2	3	9.225
Total [J]	60.0832	
Tenacidad [J]		

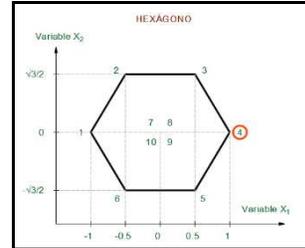
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

42

ENSAYO DE FLEXIÓN ASTM C1609-10

Revoltura :	4
Ancho [mm] :	2 mm
Dosificación [Kg/m^3] :	25 Kg/m^3



Fecha de vaciado:	Fecha de rotura:	Edad:	Peso [kg]	Base [mm]	Altura [mm]	P_P [KN]	P_{D150} [KN]	f_P [Mpa]	f_{D300} [Mpa]	$R_{e,3}$ [%]
05/05/2021	02/06/2021	28	28.462	153	152	24.7	18.7	3.1443	2.3805	75.71



Carga [KN]	Def. [mm]	Area
0	0	0
2	0.001	0.003
4	0.005	0.020
6	0.008	0.021
8	0.013	0.045
10	0.017	0.044
12	0.022	0.065
14	0.026	0.060
16	0.031	0.085
18	0.037	0.114
20	0.043	0.126
22	0.049	0.138
24	0.059	0.250
24.7	0.077	0.451
19.4	0.348	5.976
18.7	0.403	1.048
18.95	0.5	1.850
19.1	0.75	4.794
19.5	1	4.925
20	1.5	10.125
19.9	2	9.975
19.35	2.5	9.813
18.7	3	9.513
Total [J]		59.439
Tenacidad [J]		

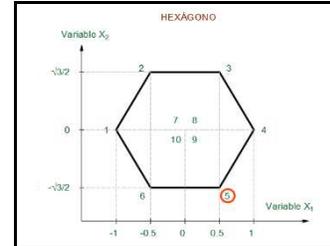
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

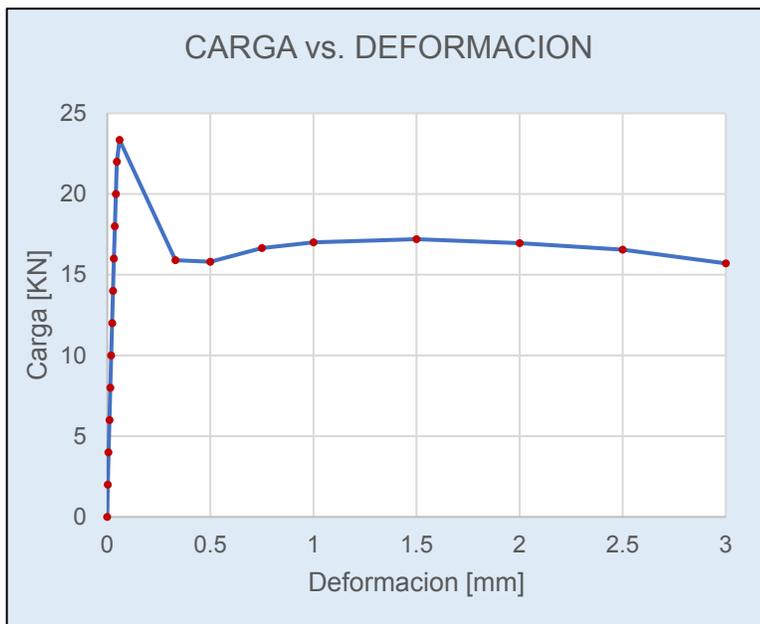
43

ENSAYO DE FLEXIÓN ASTM C1609-10

Revoltura :	5
Ancho [mm] :	1 mm
Dosificación [Kg/m^3] :	20 Kg/m^3



Fecha de vaciado:	Fecha de rotura:	Edad:	Peso [kg]	Base [mm]	Altura [mm]	P_p [KN]	P_{D150} [KN]	f_p [Mpa]	f_{D300} [Mpa]	$R_{e,3}$ [%]
13/05/2021	10/06/2021	28	28.739	154	152	23.35	15.7	2.9532	1.9857	67.24



Carga [KN]	Def. [mm]	Area
0	0	0
2	0.003	0.009
4	0.006	0.015
6	0.011	0.035
8	0.015	0.036
10	0.019	0.044
12	0.024	0.065
14	0.028	0.060
16	0.032	0.068
18	0.037	0.095
20	0.042	0.105
22	0.047	0.115
23.35	0.06	0.312
15.9	0.331	5.318
15.8	0.5	2.679
16.65	0.75	4.269
17	1	4.294
17.2	1.5	8.650
16.95	2	8.538
16.55	2.5	8.375
15.7	3	8.063
Total [J]		51.1439
Tenacidad [J]		

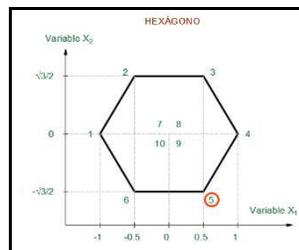
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

44

ENSAYO DE FLEXIÓN ASTM C1609-10

Revoltura :	5
Ancho [mm] :	1 mm
Dosificación [Kg/m^3] :	20 Kg/m ³



Fecha de vaciado:	Fecha de rotura:	Edad:	Peso [kg]	Base [mm]	Altura [mm]	P_P [KN]	P_{D150} [KN]	f_P [Mpa]	f_{D300} [Mpa]	$R_{e,3}$ [%]
13/05/2021	10/06/2021	28	28.859	154	152.5	26.8	16.2	3.3673	2.0355	60.45



Carga [KN]	Def. [mm]	Area
0	0	0
2	0.005	0.015
4	0.009	0.020
6	0.012	0.021
8	0.017	0.045
10	0.021	0.044
12	0.025	0.052
14	0.029	0.060
16	0.034	0.085
18	0.038	0.076
20	0.043	0.105
22	0.048	0.115
24	0.054	0.150
26	0.064	0.270
26.8	0.079	0.408
18.45	0.5	9.525
18.7	0.75	4.706
18.6	1	4.663
18.55	1.5	9.288
18	2	9.138
16.85	2.5	8.713
16.2	3	8.263
Total [J]		55.76
Tenacidad [J]		

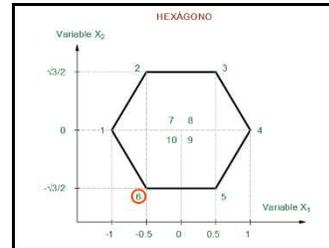
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

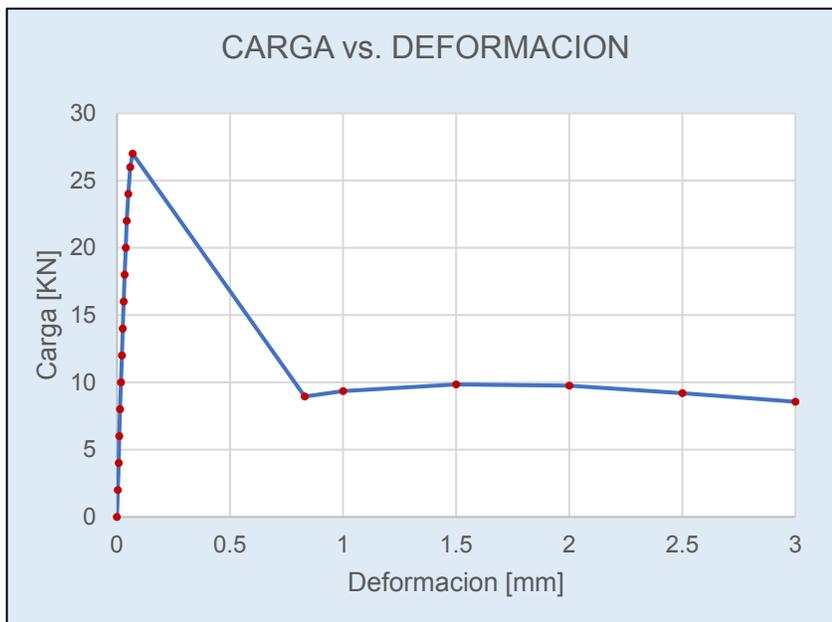
45

ENSAYO DE FLEXIÓN ASTM C1609-10

Revoltura :	6
Ancho [mm] :	1 mm
Dosificación [Kg/m ³] :	10 Kg/m ³



Fecha de vaciado:	Fecha de rotura:	Edad:	Peso [kg]	Base [mm]	Altura [mm]	P _p [KN]	P _{D150} [KN]	f _p [Mpa]	f _{D300} [Mpa]	R _{e,3} [%]
11/05/2021	08/06/2021	28	28.981	154	152	27	8.55	3.4148	1.0814	31.67



Carga [KN]	Def. [mm]	Area
0	0	0
2	0.004	0.012
4	0.008	0.020
6	0.01	0.014
8	0.014	0.036
10	0.018	0.044
12	0.022	0.052
14	0.026	0.060
16	0.03	0.068
18	0.034	0.076
20	0.039	0.105
22	0.043	0.092
24	0.05	0.175
26	0.059	0.243
27	0.069	0.275
8.95	0.83	13.679
9.35	1	1.624
9.85	1.5	5.050
9.75	2	4.900
9.2	2.5	4.738
8.55	3	4.438
Total [J]		35.6995
Tenacidad [J]		

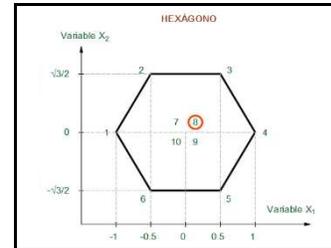
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

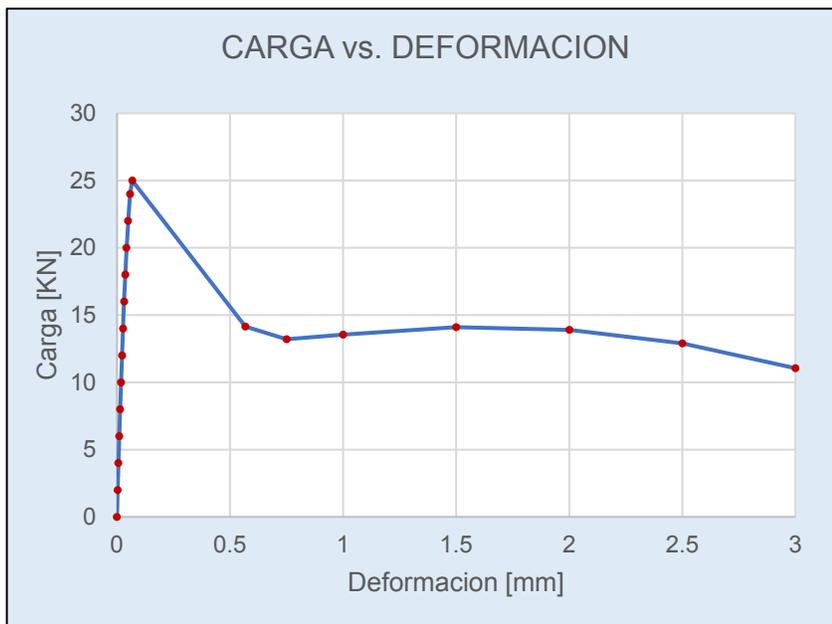
49

ENSAYO DE FLEXIÓN ASTM C1609-10

Revoltura :	8
Ancho [mm] :	2 mm
Dosificación [Kg/m ³] :	15 Kg/m ³



Fecha de vaciado:	Fecha de rotura:	Edad:	Peso [kg]	Base [mm]	Altura [mm]	P _P [KN]	P _{D150} [KN]	f _P [Mpa]	f _{D300} [Mpa]	R _{e,3} [%]
02/06/2021	30/06/2021	28	28.873	153	152	25	11.05	3.1825	1.4067	44.20



Carga [KN]	Def. [mm]	Area
0	0	0
2	0.003	0.009
4	0.006	0.015
6	0.01	0.028
8	0.014	0.036
10	0.018	0.044
12	0.023	0.065
14	0.027	0.060
16	0.032	0.085
18	0.037	0.095
20	0.042	0.105
22	0.049	0.161
24	0.058	0.225
25	0.068	0.255
14.15	0.568	9.788
13.2	0.75	2.489
13.55	1	3.431
14.1	1.5	7.188
13.9	2	7.000
12.9	2.5	6.700
11.05	3	5.988
Total [J]		43.7656
Tenacidad [J]		

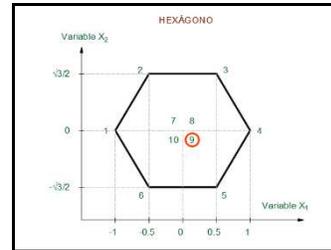
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

51

ENSAYO DE FLEXIÓN ASTM C1609-10

Revoltura :	9
Ancho [mm] :	2 mm
Dosificación [Kg/m ³] :	15 Kg/m ³



Fecha de vaciado:	Fecha de rotura:	Edad:	Peso [kg]	Base [mm]	Altura [mm]	P _p [KN]	P _{D150} [KN]	f _p [Mpa]	f _{D300} [Mpa]	R _{e,3} [%]
02/06/2021	30/06/2021	28	28.913	154	152	24.65	9.55	3.1176	1.2078	38.74



Carga [KN]	Def. [mm]	Area
0	0	0
2	0.002	0.006
4	0.005	0.015
6	0.007	0.014
8	0.011	0.036
10	0.014	0.033
12	0.018	0.052
14	0.022	0.060
16	0.026	0.068
18	0.031	0.095
20	0.038	0.147
22	0.043	0.115
24	0.05	0.175
24.65	0.056	0.150
11	0.717	11.782
10.35	0.75	0.352
10.15	1	2.563
10.25	1.5	5.150
10.05	2	5.075
10.15	2.5	5.100
9.55	3	4.925
Total [J]		35.913
Tenacidad [J]		

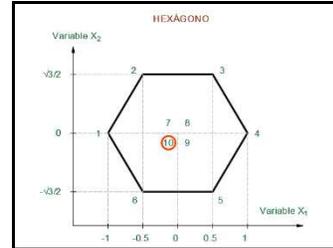
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

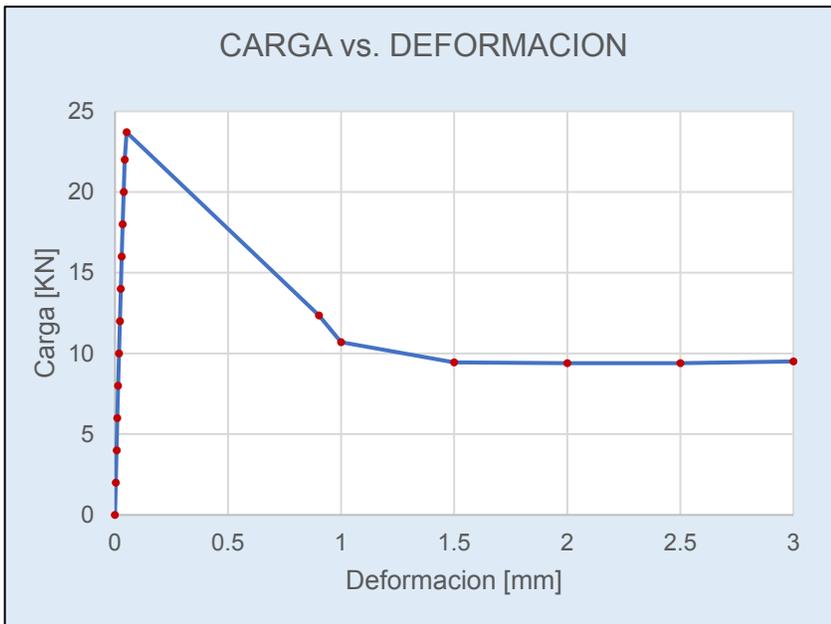
53

ENSAYO DE FLEXIÓN ASTM C1609-10

Revoltura :	10
Ancho [mm] :	2 mm
Dosificación [Kg/m ³] :	15 Kg/m ³



Fecha de vaciado:	Fecha de rotura:	Edad:	Peso [kg]	Base [mm]	Altura [mm]	P _p [KN]	P _{D150} [KN]	f _p [Mpa]	f _{D300} [Mpa]	R _{e,3} [%]
08/06/2021	06/07/2021	28	29.042	154	152	23.7	9.5	2.9975	1.2015	40.08



Carga [KN]	Def. [mm]	Area
0	0	0
2	0.004	0.012
4	0.008	0.020
6	0.01	0.014
8	0.014	0.036
10	0.018	0.044
12	0.022	0.052
14	0.026	0.060
16	0.03	0.068
18	0.034	0.076
20	0.039	0.105
22	0.043	0.092
23.7	0.052	0.221
12.35	0.902	15.321
10.7	1	1.129
9.45	1.5	5.038
9.4	2	4.713
9.4	2.5	4.700
9.5	3	4.775
Total [J]	36.4757	
Tenacidad [J]	36.4757	

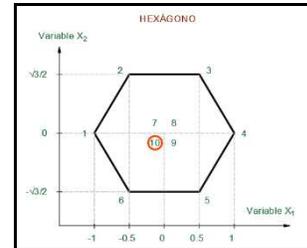
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

54

ENSAYO DE FLEXIÓN ASTM C1609-10

Revoltura :	10
Ancho [mm] :	2 mm
Dosificación [Kg/m ³] :	15 Kg/m ³



Fecha de vaciado:	Fecha de rotura:	Edad:	Peso [kg]	Base [mm]	Altura [mm]	P _p [KN]	P _{D150} [KN]	f _p [Mpa]	f _{D300} [Mpa]	R _{e,3} [%]
08/06/2021	06/07/2021	28	29.069	154	152	23.65	11.2	2.9911	1.4165	47.36



Carga [KN]	Def. [mm]	Area
0	0	0
2	0.002	0.006
4	0.005	0.015
6	0.009	0.028
8	0.011	0.018
10	0.016	0.055
12	0.019	0.039
14	0.023	0.060
16	0.027	0.068
18	0.032	0.095
20	0.035	0.063
22	0.04	0.115
23.65	0.045	0.122
11.4	0.902	15.019
11.35	1	1.115
11.35	1.5	5.675
11.3	2	5.663
11.3	2.5	5.650
11.2	3	5.625
Total [J]	39.431	
Tenacidad [J]		

**ANEXO 3: DOSIFICACIONES DEL SEGUNDO
HEXÁGONO**

PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

1

Dosificación Nº: 0 Fibras: 0 [kg/m³] Espesor de fibra: 0 [mm]

CARACTERISTICAS:

MATERIAL	% humedad	% absorción	Pe	PUc	PUs
				kg/m ³	kg/m ³
Agua	***	***	1.000	1000.000	
Cemento	***	***	2.810	1407.000	
Grava	2.940	1.927	2.573	1569	1461
Arena	10.150	2.092	2.554	1571	1455
Aire tablas=			1.6		

INFORMACIÓN INICIAL

Resistencia característica [Mpa]	21
Resistencia media [Mpa]	26.20

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN NORMAL - ACI 211,1

Grava:	Hampaturi, chancado
Arena:	Chacoma
Cemento:	Viacha

DOSIFICACIÓN GRAVIMÉTRICA

Vr, m³ = 0.027000 Vr (producido), m³ = 0.02699300

Material	Base aprobada (firmada), kg/m ³	Operativa seco	Dosificación operativa, Kg		Seco ejecutado, g	Volumenes absolutos materiales, L	Ajustada por PU, kg/m ³	DRE, kg/m ³	Volumen suelto seco, L	Observaciones
			Calculada	Ejecutada						
Agua	234.727	6.338	4.765	4.765	6.338	6.338	232.788	234.788	234.788	
Cemento	431.960	11.663	11.663	11.663	11.663	4.151	428.391	432.072	307.087	
Grava	956.065	25.814	26.573	26.573	25.814	10.033	956.313	956.313	654.558	
Arena	602.661	16.272	17.923	17.923	16.272	6.371	611.290	602.836	414.209	
TOTAL	2225.413	60.086	60.924	60.924	60.086	26.892	2228.781	2226.008	1610.642	
%G =	61.3						61.0	61.3		
%A =	38.7						39.0	38.7		Pm = 60.924
Relación a/c	0.543						0.543	0.543		Vm = 26.892

Volumen de revoltura (calculado), L =	27.000
As (buscado), cm =	4.000
as (obtenido), cm =	5.000
Agua sobrante/aumentada =	0.000
P(horm+recip), g =	18112
Peso recip, g =	2373.200

Vol recip, [cm ³] =	6974.000
PU horm, kg/m ³ =	2.257
Rendimiento, l =	26.993
aire, % (calculado) =	0.374
aire, % (asumido) =	0.374
Vreal (producido), m ³ =	26.993

Calculando la dosif operativa (DRE) para un volumen realmente producido Vreal		
verificación de cálculo, Kg	Agua	6.338
	Cemento	11.663
	Grava	25.814
	Arena	16.272

Probeta	Fecha de		Edad	Perímetro	Carga	Peso	Altura	PU	Resistencia [MPa]		códificación
	Vaciado	Ensayo							[días]	[cm]	
N°											
1	22-jun-21	29-jun-21	7	32.1	141.1	3757	20.3	2257	17.2	17.4	
2	22-jun-21	29-jun-21	7	32.0	143.4	3716	20.1	2268	17.6		
3	22-jun-21	20-jul-21	28	32.1	185.9	3753	20.3	2255	22.7	22.7	
4	22-jun-21	20-jul-21	28	32.3	189.3	3691	19.6	2268	22.8		

Probeta	Fecha de		Edad	Base de la viga	Carga	Peso	Altura de la viga	Longitud de la Viga	PU	Resistencia [MPa]	
	Vaciado	Ensayo								[días]	[cm]
N°											
1	22-jun-21	29-jun-21	7	10.1	8.6	8182	10.1	35.0	2292	2.5	2.8
2	22-jun-21	29-jun-21	7	10.1	10.5	8116	10.0	35.0	2296	3.1	
3	22-jun-21	20-jul-21	28	10.1	12.7	8055	9.9	35.0	2302	3.8	3.7
4	22-jun-21	20-jul-21	28	10.1	12.0	8078	10.0	35.0	2285	3.5	

PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

2

Dosificación Nº: 1 Fibras: 5 [kg/m3] Espesor de fibra: 2 [mm]

CARACTERISTICAS:

MATERIAL	% humedad	% absorción	Pe	PUc	PUs
				kg/m3	kg/m3
Agua	***	***	1.000	1000.000	
Cemento	***	***	2.810	1407.000	
Grava	2.070	1.927	2.573	1569	1461
Arena	8.825	2.092	2.554	1571	1455
Aire tablas=			1.6		

INFORMACIÓN INICIAL

Resistencia característica [Mpa]	21
Resistencia media [Mpa]	26.20

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN NORMAL - ACI 211,1

Grava:	Hampaturi, chancado
Arena:	Chacoma
Cemento:	Viacha

DOSIFICACIÓN GRAVIMÉTRICA

Material	Base aprobada (firmada), kg/m3	Operativa seco	Dosificación operativa, Kg		Seco ejecutado, g	Volumenes absolutos materiales, L	Ajustada por PU, kg/m3	DRE, kg/m3	Volumen suelto seco, L	Observaciones
			Calculada	Ejecutada						
				Vr (producido), m3 = 0.02704100						
Agua	234.727	6.338	5.205	5.205	6.338	6.338	232.371	234.371	234.371	
Cemento	431.960	11.663	11.663	11.663	11.663	4.151	427.624	431.305	306.542	
Grava	956.065	25.814	26.348	26.348	25.814	10.033	954.615	954.615	653.396	
Arena	602.661	16.272	17.708	17.708	16.272	6.371	610.220	601.766	413.474	
TOTAL	2225.413	60.086	60.924	60.924	60.086	26.892	2224.830	2222.057	1607.783	
%G =	61.3						61.0	61.3		LOSA
%A =	38.7						39.0	38.7		Pm = 60.924
Relación a/c	0.543						0.543	0.543		Vm = 26.892

Volumen de revoltura (calculado), L =	27.000
As (buscado), cm =	4.000
as (obtenido), cm =	5.000
Agua sobrante/aumentada =	0.000
P(horm+recip), g =	18083
Peso recip, g =	2373.200

Vol recip, [cm3] =	6974.000
PU horm, kg/m3 =	2.253
Rendimiento, l =	27.041
aire, % (calculado) =	0.551
aire, % (asumido) =	0.551
Vreal (producido), m3 =	27.041

Calculando la dosif operativa (DRE) para un volumen realmente producido Vreal		
verificación de cálculo, Kg	Agua	6.338
	Cemento	11.663
	Grava	25.814
	Arena	16.272

Probeta	Fecha de		Edad	Perímetro	Carga	Peso	Altura	PU	Resistencia [MPa]		códificación
	Vaciado	Ensayo							Obtenida	Promedio	
N°			[días]	[cm]	[KN]	[g]	[cm]	[kg/m ³]			
1	24-jun-21	01-jul-21	7	32.1	143.0	3759	20.3	2258	17.4	17.5	
2	24-jun-21	01-jul-21	7	32.1	144.6	3699	19.9	2267	17.6		
3	24-jun-21	22-jul-21	28	32.4	186.1	3693	19.6	2256	22.3	23.3	
4	24-jun-21	22-jul-21	28	32.3	201.5	3679	19.4	2284	24.3		

Probeta	Fecha de		Edad	Base de la viga	Carga	Peso	Altura de la viga	Longitud de la Viga	PU	Resistencia [MPa]	
	Vaciado	Ensayo								Obtenida	Promedio
N°			[días]	[cm]	[KN]	[g]	[cm]	[cm]	[kg/m ³]		
1	24-jun-21	01-jul-21	7	10.0	9.8	8043	10.0	35.0	2310	3.0	2.8
2	24-jun-21	01-jul-21	7	10.1	8.8	8160	10.0	35.0	2308	2.6	
3	24-jun-21	22-jul-21	28	10.0	13.6	8101	9.9	35.0	2350	4.2	3.9
4	24-jun-21	22-jul-21	28	10.0	12.1	8137	10.0	35.0	2325	3.6	

PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

3

Dosificación Nº: 2 Fibras: 10 [kg/m³] Espesor de fibra: 3 [mm]

CARACTERISTICAS:

MATERIAL	% humedad	% absorción	Pe	PUc	PUs
				kg/m ³	kg/m ³
Agua	***	***	1.000	1000.000	
Cemento	***	***	2.810	1407.000	
Grava	2.070	1.927	2.573	1569	1461
Arena	8.825	2.092	2.554	1571	1455
Aire tablas=			1.6		

INFORMACIÓN INICIAL

Resistencia característica [Mpa]	21
Resistencia media [Mpa]	26.20

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN NORMAL - ACI 211,1

Grava:	Hampaturi, chancado
Arena:	Chacoma
Cemento:	Viacha

DOSIFICACIÓN GRAVIMÉTRICA

Material	Base aprobada (firmada), kg/m ³	Operativa seco	Vr, m ³ = 0.027000		Vr (producido), m ³ = 0.02717400		Ajustada por PU, kg/m ³	DRE, kg/m ³	Volumen suelto seco, L	Observaciones
			Dosificación operativa, Kg		Seco ejecutado, g	Volumenes absolutos materiales, L				
			Calculada	Ejecutada						
Agua	234.727	6.338	5.205	5.205	6.338	6.338	233.224	233.224	233.224	
Cemento	431.960	11.663	11.663	11.663	11.663	4.151	429.194	429.194	305.042	
Grava	956.065	25.814	26.348	26.348	25.814	10.033	949.943	949.943	650.198	
Arena	602.661	16.272	17.708	17.708	16.272	6.371	598.821	598.821	411.450	
TOTAL	2225.413	60.086	60.924	60.924	60.086	26.892	2211.181	2211.181	1599.914	
%G =	61.3						61.3	61.3		LOSA
%A =	38.7						38.7	38.7		Pm = 60.924
Relación a/c	0.543						0.543	0.543		Vm = 26.892

Volumen de revoltura (calculado), L =	27.000
As (buscado), cm =	4.000
as (obtenido), cm =	4.000
Agua sobrante/aumentada =	0.000
P(horm+recip), g =	18008
Peso recip, g =	2373.200

Vol recip, [cm ³] =	6974.000
PU horm, kg/m ³ =	2.242
Rendimiento, l =	27.174
aire, % (calculado) =	1.038
aire, % (asumido) =	1.038
Vreal (producido), m ³ =	27.174

Calculando la dosif operativa (DRE) para un volumen realmente producido Vreal		
verificación de cálculo, Kg	Agua	6.338
	Cemento	11.663
	Grava	25.814
	Arena	16.272

Probeta	Fecha de		Edad	Perímetro	Carga	Peso	Altura	PU	Resistencia [MPa]		códificación
	Vaciado	Ensayo							[días]	[cm]	
N°											
1	24-jun-21	01-jul-21	7	32.1	122.4	3721	19.9	2280	14.9	15.0	
2	24-jun-21	01-jul-21	7	32.2	123.9	3692	19.9	2248	15.0		
3	24-jun-21	22-jul-21	28	32.2	181.2	3702	20.9	2147	22.0	21.6	
4	24-jun-21	22-jul-21	28	32.1	173.8	3721	20.1	2258	21.2		

Probeta	Fecha de		Edad	Base de la viga	Carga	Peso	Altura de la viga	Longitud de la Viga	PU	Resistencia [MPa]	
	Vaciado	Ensayo								[días]	[cm]
N°											
1	24-jun-21	01-jul-21	7	10.1	7.9	7995	9.9	35.0	2285	2.4	2.6
2	24-jun-21	01-jul-21	7	10.1	9.4	8043	9.9	35.0	2298	2.8	
3	24-jun-21	22-jul-21	28	10.0	11.3	8215	10.0	35.0	2347	3.4	3.6
4	24-jun-21	22-jul-21	28	9.6	11.6	7860	9.6	35.0	2437	3.9	

PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

4

Dosificación Nº: 3 Fibras: 20 [kg/m3] Espesor de fibra: 3 [mm]

CARACTERISTICAS:

MATERIAL	% humedad	% absorción	Pe	PUc	PUs
				kg/m3	kg/m3
Agua	***	***	1.000	1000.000	
Cemento	***	***	2.810	1407.000	
Grava	1.910	1.927	2.573	1569	1461
Arena	8.690	2.092	2.554	1571	1455
Aire tablas=			1.6		

INFORMACIÓN INICIAL

Resistencia característica [Mpa]	21
Resistencia media [Mpa]	26.20

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN NORMAL - ACI 211,1

Grava:	Hampaturi, chancado
Arena:	Chacoma
Cemento:	Viacha

DOSIFICACIÓN GRAVIMÉTRICA

Material	Base aprobada (firmada), kg/m3	Operativa seco	Vr, m3 = 0.027000		Vr (producido), m3 = 0.02719800		Ajustada por PU, kg/m3	DRE, kg/m3	Volumen suelto seco, L	Observaciones
			Dosificación operativa, Kg		Seco ejecutado, g	Volumenes absolutos materiales, L				
			Calculada	Ejecutada						
Agua	234.727	6.338	5.268	5.268	6.338	6.338	238.418	233.018	233.018	
Cemento	431.960	11.663	11.663	11.663	11.663	4.151	438.752	428.815	304.773	
Grava	956.065	25.814	26.307	26.307	25.814	10.033	949.105	949.105	649.625	
Arena	602.661	16.272	17.686	17.686	16.272	6.371	575.469	598.293	411.087	
TOTAL	2225.413	60.086	60.924	60.924	60.086	26.892	2201.744	2209.230	1598.502	
%G =	61.3						62.3	61.3		LOSA
%A =	38.7						37.7	38.7		Pm = 60.924
Relación a/c	0.543						0.543	0.543		Vm = 26.892

Volumen de revoltura (calculado), L =	27.000
As (buscado), cm =	4.000
as (obtenido), cm =	1.300
Agua sobrante/aumentada =	0.000
P(horm+recip), g =	17998
Peso recip, g =	2373.200

Vol recip, [cm3] =	6974.000
PU horm, kg/m3 =	2.240
Rendimiento, l =	27.198
aire, % (calculado) =	1.125
aire, % (asumido) =	1.125
Vreal (producido), m3 =	27.198

Calculando la dosif operativa (DRE) para un volumen realmente producido Vreal		
verificación de cálculo, Kg	Agua	6.338
	Cemento	11.663
	Grava	25.814
	Arena	16.272

Probeta	Fecha de		Edad	Perímetro	Carga	Peso	Altura	PU	Resistencia [MPa]		códificación
	Vaciado	Ensayo							[días]	[cm]	
N°											
1	29-jun-21	06-jul-21	7	32.4	145.2	3705	20.0	2218	17.4	17.9	
2	29-jun-21	06-jul-21	7	32.1	151.8	3748	20.1	2274	18.5		
3	29-jun-21	27-jul-21	28	32.1	179.5	3699	20.4	2211	21.9	21.5	
4	29-jun-21	27-jul-21	28	32.1	172.3	3653	20.1	2216	21.0		

Probeta	Fecha de		Edad	Base de la viga	Carga	Peso	Altura de la viga	Longitud de la Viga	PU	Resistencia [MPa]	
	Vaciado	Ensayo								[días]	[cm]
N°											
1	29-jun-21	06-jul-21	7	10.0	8.3	9330	10.0	40.4	2309	2.5	2.6
2	29-jun-21	06-jul-21	7	10.0	8.8	9313	10.0	40.4	2305	2.6	
3	29-jun-21	27-jul-21	28	10.0	13.2	9380	10.5	40.4	2211	3.6	3.6
4	29-jun-21	27-jul-21	28	10.0	11.7	9358	10.0	40.4	2316	3.5	

PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

5

Dosificación Nº: 4 Fibras: 25 [kg/m3] Espesor de fibra: 2 [mm]

CARACTERISTICAS:

MATERIAL	% humedad	% absorción	Pe	PUc	PUs
				kg/m3	kg/m3
Agua	***	***	1.000	1000.000	
Cemento	***	***	2.810	1407.000	
Grava	1.910	1.927	2.573	1569	1461
Arena	8.690	2.092	2.554	1571	1455
Aire tablas=			1.6		

INFORMACIÓN INICIAL

Resistencia característica [Mpa]	21
Resistencia media [Mpa]	26.20

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN NORMAL - ACI 211,1

Grava:	Hampaturi, chancado
Arena:	Chacoma
Cemento:	Viacha

DOSIFICACIÓN GRAVIMÉTRICA

Material	Base aprobada (firmada), kg/m3	Operativa seco	Vr, m3 = 0.027000		Vr (producido), m3 = 0.02723500		Ajustada por PU, kg/m3	DRE, kg/m3	Volumen suelto seco, L	Observaciones
			Dosificación operativa, Kg		Seco ejecutado, g	Volumenes absolutos materiales, L				
			Calculada	Ejecutada						
Agua	234.727	6.338	5.268	5.268	6.338	6.338	240.701	232.701	232.701	
Cemento	431.960	11.663	11.663	11.663	11.663	4.151	442.955	428.232	304.358	
Grava	956.065	25.814	26.307	26.307	25.814	10.033	947.815	947.815	648.742	
Arena	602.661	16.272	17.686	17.686	16.272	6.371	563.667	597.480	410.529	
TOTAL	2225.413	60.086	60.924	60.924	60.086	26.892	2195.138	2206.229	1596.331	
%G =	61.3						62.7	61.3		LOSA
%A =	38.7						37.3	38.7		Pm = 60.924
Relación a/c	0.543						0.543	0.543		Vm = 26.892

Volumen de revoltura (calculado), L =	27.000
As (buscado), cm =	4.000
as (obtenido), cm =	0.000
Agua sobrante/aumentada =	0.000
P(horm+recip), g =	17975
Peso recip, g =	2373.200

Vol recip, [cm3] =	6974.000
PU horm, kg/m3 =	2.237
Rendimiento, l =	27.235
aire, % (calculado) =	1.259
aire, % (asumido) =	1.259
Vreal (producido), m3 =	27.235

Calculando la dosif operativa (DRE) para un volumen realmente producido Vreal		
verificación de cálculo, Kg	Agua	6.338
	Cemento	11.663
	Grava	25.814
	Arena	16.272

Probeta	Fecha de		Edad	Perímetro	Carga	Peso	Altura	PU	Resistencia [MPa]		códificación
	Vaciado	Ensayo							[días]	[cm]	
N°											
1	29-jun-21	06-jul-21	7	32.0	145.0	3696	20.0	2268	17.8	18.3	
2	29-jun-21	06-jul-21	7	32.1	153.7	3677	19.7	2276	18.7		
3	29-jun-21	27-jul-21	28	32.1	178.9	3768	20.1	2286	21.8	21.1	
4	29-jun-21	27-jul-21	28	32.2	167.5	3759	20.1	2267	20.3		

Probeta	Fecha de		Edad	Base de la viga	Carga	Peso	Altura de la viga	Longitud de la Viga	PU	Resistencia [MPa]	
	Vaciado	Ensayo								[días]	[cm]
N°											
5	29-jun-21	06-jul-21	7	10.0	8.4	9273	10.0	40.4	2295	2.5	2.7
6	29-jun-21	06-jul-21	7	10.0	9.6	9260	9.9	40.4	2315	2.9	
7	29-jun-21	27-jul-21	28	10.0	12.5	9324	10.0	40.4	2308	3.8	3.8
8	29-jun-21	27-jul-21	28	9.9	12.8	9292	10.1	40.4	2300	3.8	

PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

6

Dosificación Nº: 5 Fibras: 20 [kg/m3] Espesor de fibra: 1 [mm]

CARACTERISTICAS:

MATERIAL	% humedad	% absorción	Pe	PUc	PUs
				kg/m3	kg/m3
Agua	***	***	1.000	1000.000	
Cemento	***	***	2.810	1407.000	
Grava	2.205	1.927	2.573	1569	1461
Arena	7.520	2.092	2.554	1571	1455
Aire tablas=			1.6		

INFORMACIÓN INICIAL

Resistencia característica [Mpa]	21
Resistencia media [Mpa]	26.20

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN NORMAL - ACI 211,1

Grava:	Hampaturi, chancado
Arena:	Chacoma
Cemento:	Viacha

DOSIFICACIÓN GRAVIMÉTRICA

Material	Base aprobada (firmada), kg/m3	Operativa seco	Dosificación operativa, Kg		Seco ejecutado, g	Volumenes absolutos materiales, L	Ajustada por PU, kg/m3	DRE, kg/m3	Volumen suelto seco, L	Observaciones
			Calculada	Ejecutada						
			Vr, m3 = 0.027000							
Agua	234.727	6.338	5.383	5.383	6.338	6.338	239.852	233.852	233.852	
Cemento	431.960	11.663	11.663	11.663	11.663	4.151	441.391	430.350	305.863	
Grava	956.065	25.814	26.383	26.383	25.814	10.033	952.502	952.502	651.950	
Arena	602.661	16.272	17.495	17.495	16.272	6.371	575.074	600.434	412.559	
TOTAL	2225.413	60.086	60.924	60.924	60.086	26.892	2208.820	2217.138	1604.224	
%G =	61.3						62.4	61.3		LOSA
%A =	38.7						37.6	38.7		Pm = 60.924
Relación a/c	0.543						0.543	0.543		Vm = 26.892

Volumen de revoltura (calculado), L =	27.000
As (buscado), cm =	4.000
as (obtenido), cm =	1.000
Agua sobrante/aumentada =	0.000
P(horm+recip), g =	18054
Peso recip, g =	2373.200

Vol recip, [cm3] =	6974.000
PU horm, kg/m3 =	2.248
Rendimiento, l =	27.101
aire, % (calculado) =	0.771
aire, % (asumido) =	0.771
Vreal (producido), m3 =	27.101

Calculando la dosif operativa (DRE) para un volumen realmente producido Vreal		
verificación de cálculo, Kg	Agua	6.338
	Cemento	11.663
	Grava	25.814
	Arena	16.272

Probeta	Fecha de		Edad	Perímetro	Carga	Peso	Altura	PU	Resistencia [MPa]		códificación
	Vaciado	Ensayo							[días]	[cm]	
N°											
1	01-jul-21	08-jul-21	7	32.1	204.6	3765	20.2	2273	25.0	25.2	
2	01-jul-21	08-jul-21	7	32.0	207.8	3680	20.0	2258	25.5		
3	01-jul-21	29-jul-21	28	32.1	246.0	3738	20.0	2279	30.0	30.2	
4	01-jul-21	29-jul-21	28	32.1	250.0	3772	20.4	2255	30.5		

Probeta	Fecha de		Edad	Base de la viga	Carga	Peso	Altura de la viga	Longitud de la Viga	PU	Resistencia [MPa]	
	Vaciado	Ensayo								[días]	[cm]
N°											
1	01-jul-21	08-jul-21	7	10.0	9.5	9390	10.1	40.4	2313	2.8	3.0
2	01-jul-21	08-jul-21	7	10.0	10.3	9334	10.0	40.4	2322	3.1	
3	01-jul-21	29-jul-21	28	10.0	11.5	9395	10.0	40.4	2325	3.4	3.5
4	01-jul-21	29-jul-21	28	10.1	12.3	9486	10.1	40.4	2302	3.6	

PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

7

Dosificación Nº: 6 Fibras: 10 [kg/m3] Espesor de fibra: 1 [mm]

CARACTERISTICAS:

MATERIAL	% humedad	% absorción	Pe	PUc	PUs
				kg/m3	kg/m3
Agua	***	***	1.000	1000.000	
Cemento	***	***	2.810	1407.000	
Grava	2.040	1.927	2.573	1569	1461
Arena	7.680	2.092	2.554	1571	1455
Aire tablas=			1.6		

INFORMACIÓN INICIAL

Resistencia característica [Mpa]	21
Resistencia media [Mpa]	26.20

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN NORMAL - ACI 211,1

Grava:	Hampaturi, chancado
Arena:	Chacoma
Cemento:	Viacha

DOSIFICACIÓN GRAVIMÉTRICA

Material	Base aprobada (firmada), kg/m3	Operativa seco	Dosificación operativa, Kg		Seco ejecutado, g	Volumenes absolutos materiales, L	Ajustada por PU, kg/m3	DRE, kg/m3	Volumen suelto seco, L	Observaciones
			Calculada	Ejecutada						
Agua	234.727	6.338	5.399	5.399	6.338	6.338	238.267	234.267	234.267	
Cemento	431.960	11.663	11.663	11.663	11.663	4.151	438.474	431.113	306.406	
Grava	956.065	25.814	26.340	26.340	25.814	10.033	954.192	954.192	653.106	
Arena	602.661	16.272	17.522	17.522	16.272	6.371	584.593	601.499	413.291	
TOTAL	2225.413	60.086	60.924	60.924	60.086	26.892	2215.526	2221.071	1607.070	
%G =	61.3						62.0	61.3		LOSA
%A =	38.7						38.0	38.7		Pm = 60.924
Relación a/c	0.543						0.543	0.543		Vm = 26.892

Volumen de revoltura (calculado), L =	27.000
As (buscado), cm =	4.000
as (obtenido), cm =	2.000
Agua sobrante/aumentada =	0.000
P(horm+recip), g =	18080
Peso recip, g =	2373.200

Vol recip, [cm3] =	6974.000
PU horm, kg/m3 =	2.252
Rendimiento, l =	27.053
aire, % (calculado) =	0.595
aire, % (asumido) =	0.595
Vreal (producido), m3 =	27.053

Calculando la dosif operativa (DRE) para un volumen realmente producido Vreal		
verificación de cálculo, Kg	Agua	6.338
	Cemento	11.663
	Grava	25.814
	Arena	16.272

Probeta	Fecha de		Edad	Perímetro	Carga	Peso	Altura	PU	Resistencia [MPa]		códificación
	Vaciado	Ensayo							[días]	[cm]	
N°											
1	01-jul-21	08-jul-21	7	32.3	155.7	3721	19.8	2264	18.8	20.1	
2	01-jul-21	08-jul-21	7	32.0	175.2	3710	20.1	2265	21.5		
3	01-jul-21	29-jul-21	28	32.3	216.2	3701	19.5	2286	26.0	25.9	
4	01-jul-21	29-jul-21	28	32.1	211.2	3738	20.3	2246	25.8		

Probeta	Fecha de		Edad	Base de la viga	Carga	Peso	Altura de la viga	Longitud de la Viga	PU	Resistencia [MPa]	
	Vaciado	Ensayo								[días]	[cm]
N°											
1	01-jul-21	08-jul-21	7	10.1	10.1	9345	10.1	40.4	2290	3.0	3.1
2	01-jul-21	08-jul-21	7	10.0	10.5	9408	10.0	40.4	2329	3.1	
3	01-jul-21	29-jul-21	28	10.1	13.9	9428	10.1	40.4	2288	4.0	4.1
4	01-jul-21	29-jul-21	28	9.9	13.5	9369	9.9	40.4	2366	4.2	

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES FAULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA CIVIL	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. HUGO MANSILLA ROMERO" ANEXO: 3
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido	Planilla : 8

Dosificación Nº: 7 Fibras: 15 [kg/m3] Espesor de fibra: 2 [mm]

CARACTERISTICAS:

MATERIAL	% humedad	% absorción	Pe	PUc	PUs
				kg/m3	kg/m3
Agua	***	***	1.000	1000.000	
Cemento	***	***	2.810	1407.000	
Grava	2.040	1.927	2.573	1569	1461
Arena	7.680	2.092	2.554	1571	1455
Aire tablas=			1.6		

INFORMACIÓN INICIAL

Resistencia característica [Mpa]	21
Resistencia media [Mpa]	26.20

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN NORMAL - ACI 211,1

Grava:	Hampaturi, chancado
Arena:	Chacoma
Cemento:	Viacha

DOSIFICACIÓN GRAVIMÉTRICA

Material	Base aprobada (firmada), kg/m3	Operativa seco	Vr, m3 = 0.027000		Vr (producido), m3 = 0.02708900		Ajustada por PU, kg/m3	DRE, kg/m3	Volumen suelto seco, L	Observaciones
			Dosificación operativa, Kg		Seco ejecutado, g	Volumenes absolutos materiales, L				
			Calculada	Ejecutada						
Agua	234.727	6.338	5.399	5.399	6.338	6.338	239.156	233.956	233.956	
Cemento	431.960	11.663	11.663	11.663	11.663	4.151	440.110	430.540	305.999	
Grava	956.065	25.814	26.340	26.340	25.814	10.033	952.924	952.924	652.238	
Arena	602.661	16.272	17.522	17.522	16.272	6.371	578.722	600.700	412.741	
TOTAL	2225.413	60.086	60.924	60.924	60.086	26.892	2210.911	2218.120	1604.934	
%G =	61.3						62.2	61.3		LOSA
%A =	38.7						37.8	38.7		Pm = 60.924
Relación a/c	0.543						0.543	0.543		Vm = 26.892

Volumen de revoltura (calculado), L =	27.000
As (buscado), cm =	4.000
as (obtenido), cm =	1.400
Agua sobrante/aumentada =	0.000
P(horm+recip), g =	18060
Peso recip, g =	2373.200

Vol recip, [cm3] =	6974.000
PU horm, kg/m3 =	2.249
Rendimiento, l =	27.089
aire, % (calculado) =	0.727
aire, % (asumido) =	0.727
Vreal (producido), m3 =	27.089

Calculando la dosif operativa (DRE) para un volumen realmente producido Vreal		
verificación de cálculo, Kg	Agua	6.338
	Cemento	11.663
	Grava	25.814
	Arena	16.272

Probeta	Fecha de		Edad	Perímetro	Carga	Peso	Altura	PU	Resistencia [MPa]		códificación
	Vaciado	Ensayo							[días]	[cm]	
N°											
1	06-jul-21	13-jul-21	7	32.1	125.8	3720	19.9	2280	15.3	15.5	
2	06-jul-21	13-jul-21	7	32.3	129.4	3732	19.8	2270	15.6		
3	06-jul-21	03-ago-21	28	32.1	183.4	3696	19.8	2276	22.4	21.0	
4	06-jul-21	03-ago-21	28	32.4	163.6	3687	19.7	2240	19.6		

Probeta	Fecha de		Edad	Base de la viga	Carga	Peso	Altura de la viga	Longitud de la Viga	PU	Resistencia [MPa]	
	Vaciado	Ensayo								[días]	[cm]
N°											
1	06-jul-21	13-jul-21	7	10.0	8.1	9249	10.0	40.4	2312	2.5	2.6
2	06-jul-21	13-jul-21	7	10.0	9.3	9322	10.0	40.4	2307	2.8	
3	06-jul-21	03-ago-21	28	10.0	11.2	9329	10.0	40.4	2309	3.4	3.2
4	06-jul-21	03-ago-21	28	10.0	10.3	9408	10.1	40.4	2317	3.1	

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES FAULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA CIVIL	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. HUGO MANSILLA ROMERO" ANEXO: 3
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido	Planilla : 9

Fecha: 06/07/2021 Dosificación Nº: 8 Fibras: 15 [kg/m3] Espesor de fibra: 2 [mm]

CARACTERISTICAS:

MATERIAL	% humedad	% absorción	Pe	PUc	PUs
				kg/m3	kg/m3
Agua	***	***	1.000	1000.000	
Cemento	***	***	2.810	1407.000	
Grava	2.195	1.927	2.573	1569	1461
Arena	7.415	2.092	2.554	1571	1455
Aire tablas =			1.6		

INFORMACIÓN INICIAL

Resistencia característica [Mpa]	21
Resistencia media [Mpa]	26.20

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN NORMAL - ACI 211,1

Grava:	Hampaturi, chancado
Arena:	Chacoma
Cemento:	Viacha

DOSIFICACIÓN GRAVIMÉTRICA

Material	Base aprobada (firmada), kg/m3	Operativa seco	Dosificación operativa, Kg		Seco ejecutado, g	Volumenes absolutos materiales, L	Ajustada por PU, kg/m3	DRE, kg/m3	Volumen suelto seco, L	Observaciones
			Calculada	Ejecutada						
			Vr, m3 = 0.027000							
Agua	234.727	6.338	5.402	5.402	6.338	6.338	238.163	234.163	234.163	
Cemento	431.960	11.663	11.663	11.663	11.663	4.151	438.283	430.922	306.270	
Grava	956.065	25.814	26.380	26.380	25.814	10.033	953.769	953.769	652.817	
Arena	602.661	16.272	17.478	17.478	16.272	6.371	584.326	601.233	413.107	
TOTAL	2225.413	60.086	60.924	60.924	60.086	26.892	2214.541	2220.087	1606.358	
%G =	61.3						62.0	61.3		LOSA
%A =	38.7						38.0	38.7		Pm = 60.924
Relación a/c	0.543						0.543	0.543		Vm = 26.892

Volumen de revoltura (calculado), L =	27.000
As (buscado), cm =	4.000
as (obtenido), cm =	2.000
Agua sobrante/aumentada =	0.000
P(horm+recip), g =	18070
Peso recip, g =	2373.200

Vol recip, [cm3] =	6974.000
PU horm, kg/m3 =	2.251
Rendimiento, l =	27.065
aire, % (calculado) =	0.639
aire, % (asumido) =	0.639
Vreal (producido), m3 =	27.065

Calculando la dosif operativa (DRE) para un volumen realmente producido Vreal		
verificación de cálculo, Kg	Agua	6.338
	Cemento	11.663
	Grava	25.814
	Arena	16.272

Probeta	Fecha de		Edad	Perímetro	Carga	Peso	Altura	PU	Resistencia [MPa]		códificación
	Vaciado	Ensayo							[días]	[cm]	
N°											
1	06-jul-21	13-jul-21	7	32.2	219.2	3756	20.1	2264	26.6	25.1	
2	06-jul-21	13-jul-21	7	32.4	197.9	3756	19.8	2271	23.7		
3	06-jul-21	03-ago-21	28	32.1	236.0	3786	20.2	2285	28.8	27.6	
4	06-jul-21	03-ago-21	28	32.3	219.5	3786	19.9	2291	26.4		

Probeta	Fecha de		Edad	Base de la viga	Carga	Peso	Altura de la viga	Longitud de la Viga	PU	Resistencia [MPa]	
	Vaciado	Ensayo								[días]	[cm]
N°											
1	06-jul-21	13-jul-21	7	10.1	9.9	9544	10.1	40.4	2316	2.9	3.0
2	06-jul-21	13-jul-21	7	10.0	10.7	9399	10.1	40.4	2303	3.1	
3	06-jul-21	03-ago-21	28	10.0	10.9	9401	10.1	40.4	2304	3.2	3.4
4	06-jul-21	03-ago-21	28	10.0	12.5	9494	10.1	40.4	2327	3.7	

PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

10

Fecha: 06/07/2021 Dosificación Nº: 9 Fibras: 15 [kg/m3] Espesor de fibra: 2 [mm]

CARACTERISTICAS:

MATERIAL	% humedad	% absorción	Pe	PUc	PUs
				kg/m3	kg/m3
Agua	***	***	1.000	1000.000	
Cemento	***	***	2.810	1407.000	
Grava	2.205	1.927	2.573	1569	1461
Arena	7.520	2.092	2.554	1571	1455
Aire tablas=			1.6		

INFORMACIÓN INICIAL

Resistencia característica [Mpa]	21
Resistencia media [Mpa]	26.20

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN NORMAL - ACI 211,1

Grava:	Hampaturi, chancado
Arena:	Chacoma
Cemento:	Viacha

DOSIFICACIÓN GRAVIMÉTRICA

Material	Base aprobada (firmada), kg/m3	Operativa seco	Dosificación operativa, Kg		Seco ejecutado, g	Volumenes absolutos materiales, L	Ajustada por PU, kg/m3	DRE, kg/m3	Volumen suelto seco, L	Observaciones
			Calculada	Ejecutada						
Agua	234.727	6.338	5.383	5.383	6.338	6.338	238.059	234.059	234.059	
Cemento	431.960	11.663	11.663	11.663	11.663	4.151	438.092	430.731	306.134	
Grava	956.065	25.814	26.383	26.383	25.814	10.033	953.346	953.346	652.528	
Arena	602.661	16.272	17.495	17.495	16.272	6.371	584.060	600.966	412.924	
TOTAL	2225.413	60.086	60.924	60.924	60.086	26.892	2213.557	2219.103	1605.646	
%G =	61.3						62.0	61.3		LOSA
%A =	38.7						38.0	38.7		Pm = 60.924
Relación a/c	0.543						0.543	0.543		Vm = 26.892

Volumen de revoltura (calculado), L =	27.000
As (buscado), cm =	4.000
as (obtenido), cm =	2.000
Agua sobrante/aumentada =	0.000
P(horm+recip), g =	18065
Peso recip, g =	2373.200

Vol recip, [cm3] =	6974.000
PU horm, kg/m3 =	2.250
Rendimiento, l =	27.077
aire, % (calculado) =	0.683
aire, % (asumido) =	0.683
Vreal (producido), m3 =	27.077

Calculando la dosif operativa (DRE) para un volumen realmente producido Vreal		
verificación de cálculo, Kg	Agua	6.338
	Cemento	11.663
	Grava	25.814
	Arena	16.272

Probeta	Fecha de		Edad	Perímetro	Carga	Peso	Altura	PU	Resistencia [MPa]		códificación
	Vaciado	Ensayo							Obtenida	Promedio	
N°			[días]	[cm]	[KN]	[g]	[cm]	[kg/m ³]			
1	06-jul-21	13-jul-21	7	32.0	140.5	3723	20.0	2284	17.2	17.0	
2	06-jul-21	13-jul-21	7	31.9	136.5	3768	20.0	2326	16.9		
3	06-jul-21	03-ago-21	28	32.1	208.0	3721	20.0	2275	25.4	25.9	
4	06-jul-21	03-ago-21	28	32.0	216.2	3778	20.1	2312	26.5		

Probeta	Fecha de		Edad	Base de la viga	Carga	Peso	Altura de la viga	Longitud de la Viga	PU	Resistencia [MPa]	
	Vaciado	Ensayo								Obtenida	Promedio
N°			[días]	[cm]	[KN]	[g]	[cm]	[cm]	[kg/m ³]		
1	06-jul-21	13-jul-21	7	10.0	9.4	9426	10.1	40.4	2322	2.8	2.7
2	06-jul-21	13-jul-21	7	10.0	8.6	9516	10.1	40.4	2332	2.5	
3	06-jul-21	03-ago-21	28	10.0	10.5	9423	10.0	40.4	2332	3.2	3.1
4	06-jul-21	03-ago-21	28	10.1	10.7	9468	10.1	40.4	2309	3.1	

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES FAULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA CIVIL	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. HUGO MANSILLA ROMERO" ANEXO: 3
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido	Planilla : 11

Fecha: 06/07/2021 Dosificación Nº: 10 Fibras: 15 [kg/m3] Espesor de fibra: 2 [mm]

CARACTERISTICAS:

MATERIAL	% humedad	% absorción	Pe	PUc	PUs
				kg/m3	kg/m3
Agua	***	***	1.000	1000.000	
Cemento	***	***	2.810	1407.000	
Grava	2.140	1.927	2.573	1569	1461
Arena	8.102	2.092	2.554	1571	1455
Aire tablas=			1.6		

INFORMACIÓN INICIAL

Resistencia característica [Mpa]	21
Resistencia media [Mpa]	26.20

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN NORMAL - ACI 211,1

Grava:	Hampaturi, chancado
Arena:	Chacoma
Cemento:	Viacha

DOSIFICACIÓN GRAVIMÉTRICA

Material	Base aprobada (firmada), kg/m3	Operativa seco	Vr, m3 = 0.027000		Vr (producido), m3 = 0.02708900		Ajustada por PU, kg/m3	DRE, kg/m3	Volumen suelto seco, L	Observaciones
			Dosificación operativa, Kg		Seco ejecutado, g	Volumenes absolutos materiales, L				
			Calculada	Ejecutada						
Agua	234.727	6.338	5.305	5.305	6.338	6.338	237.956	233.956	233.956	
Cemento	431.960	11.663	11.663	11.663	11.663	4.151	437.901	430.540	305.999	
Grava	956.065	25.814	26.366	26.366	25.814	10.033	952.924	952.924	652.238	
Arena	602.661	16.272	17.590	17.590	16.272	6.371	583.794	600.700	412.741	
TOTAL	2225.413	60.086	60.924	60.924	60.086	26.892	2212.574	2218.120	1604.934	
%G =	61.3						62.0	61.3		LOSA
%A =	38.7						38.0	38.7		Pm = 60.924
Relación a/c	0.543						0.543	0.543		Vm = 26.892

Volumen de revoltura (calculado), L =	27.000
As (buscado), cm =	4.000
as (obtenido), cm =	2.000
Agua sobrante/aumentada =	0.000
P(horm+recip), g =	18055
Peso recip, g =	2373.200

Vol recip, [cm3] =	6974.000
PU horm, kg/m3 =	2.249
Rendimiento, l =	27.089
aire, % (calculado) =	0.727
aire, % (asumido) =	0.727
Vreal (producido), m3 =	27.089

Calculando la dosif operativa (DRE) para un volumen realmente producido Vreal		
verificación de cálculo, Kg	Agua	6.338
	Cemento	11.663
	Grava	25.814
	Arena	16.272

Probeta	Fecha de		Edad	Perímetro	Carga	Peso	Altura	PU	Resistencia [MPa]		códificación
	Vaciado	Ensayo							[días]	[cm]	
N°											
1	06-jul-21	13-jul-21	7	32.0	144.7	3768	20.1	2301	17.8	17.7	
2	06-jul-21	13-jul-21	7	32.1	145.3	3791	19.9	2323	17.7		
3	06-jul-21	03-ago-21	28	32.1	213.5	3780	20.0	2311	26.0	26.7	
4	06-jul-21	03-ago-21	28	32.0	222.3	3752	20.1	2296	27.3		

Probeta	Fecha de		Edad	Base de la viga	Carga	Peso	Altura de la viga	Longitud de la Viga	PU	Resistencia [MPa]	
	Vaciado	Ensayo								[días]	[cm]
N°											
1	06-jul-21	13-jul-21	7	10.1	9.2	9385	10.0	40.4	2323	2.8	2.9
2	06-jul-21	13-jul-21	7	10.0	10.1	9505	10.1	40.4	2353	3.0	
3	06-jul-21	03-ago-21	28	10.0	10.9	9485	10.0	40.4	2360	3.3	3.3
4	06-jul-21	03-ago-21	28	10.1	11.1	9495	10.0	40.4	2327	3.3	

PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

12

ENSAYOS A FLEXION

Nº	CÓDIGO	FECHA VACIADO	FECHA ROTURA	PESO [g]	ALTURA [cm]	BASE. [cm]	CARGA [KN]	EDAD [días]	RESIST. [MPa]	PROM. [MPa]	% INCREM.
0	Sin Fibras	22-jun	29-jun	8182	10.1	10.1	8.55	7	2.5	2.80	
		22-jun	29-jun	8116	10	10.1	10.45	7	3.1		
		22-jun	20-jul	8055	9.9	10.1	12.65	28	3.8	3.69	
		22-jun	20-jul	8078	10	10.1	11.95	28	3.5		
1	2mm-5 [kg/m3]	24-jun	01-jul	8043	9.95	10	9.8	7	3.0	2.78	-0.45
		24-jun	01-jul	8160	10	10.1	8.75	7	2.6		
		24-jun	22-jul	8101	9.85	10	13.55	28	4.2	3.91	5.91
		24-jun	22-jul	8137	10	10	12.1	28	3.6		
2	3mm-10 [kg/m3]	24-jun	01-jul	7995	9.9	10.1	7.85	7	2.4	2.61	-6.81
		24-jun	01-jul	8043	9.9	10.1	9.35	7	2.8		
		24-jun	22-jul	8215	10	10	11.25	28	3.4	3.65	-1.24
		24-jun	22-jul	7860	9.6	9.6	11.55	28	3.9		
3	3mm-20 [kg/m3]	29-jun	06-jul	9330	10	10	8.25	7	2.5	2.55	-8.82
		29-jun	06-jul	9313	10	10	8.75	7	2.6		
		29-jun	27-jul	9380	10.5	10	13.2	28	3.6	3.55	-3.81
		29-jun	27-jul	9358	10	10	11.7	28	3.5		
4	2mm-25 [kg/m3]	29-jun	06-jul	9273	10	10	8.35	7	2.5	2.71	-2.96
		29-jun	06-jul	9260	9.9	10	9.55	7	2.9		
		29-jun	27-jul	9324	10	10	12.5	28	3.8	3.77	2.09
		29-jun	27-jul	9292	10.1	9.9	12.75	28	3.8		
5	1mm-20 [kg/m3]	01-jul	08-jul	9390	10.05	10	9.45	7	2.8	2.96	5.71
		01-jul	08-jul	9334	9.95	10	10.25	7	3.1		
		01-jul	29-jul	9395	10	10	11.45	28	3.4	3.50	-5.16
		01-jul	29-jul	9486	10.1	10.1	12.25	28	3.6		
6	1mm-10 [kg/m3]	01-jul	08-jul	9345	10.05	10.05	10.05	7	3.0	3.05	9.15
		01-jul	08-jul	9408	10	10	10.45	7	3.1		
		01-jul	29-jul	9428	10.1	10.1	13.9	28	4.0	4.11	11.35
		01-jul	29-jul	9369	9.9	9.9	13.5	28	4.2		
7	2mm-15 [kg/m3]	06-jul	13-jul	9249	9.95	9.95	8.1	7	2.5	2.63	-6.02
		06-jul	13-jul	9322	10	10	9.3	7	2.8		
		06-jul	03-ago	9329	10	10	11.2	28	3.4	3.21	14.76
		06-jul	03-ago	9408	10.05	10	10.3	28	3.1		
8	2mm-15 [kg/m3]	06-jul	13-jul	9544	10.1	10.1	9.85	7	2.9	3.0	7.3
		06-jul	13-jul	9399	10.1	10	10.65	7	3.1		
		06-jul	03-ago	9401	10.1	10	10.9	28	3.2	3.4	22.8
		06-jul	03-ago	9494	10.1	10	12.45	28	3.7		
9	2mm-15 [kg/m3]	06-jul	13-jul	9426	10.05	10	9.4	7	2.8	2.65	-5.13
		06-jul	13-jul	9516	10.1	10	8.55	7	2.5		
		06-jul	03-ago	9423	10	10	10.5	28	3.2	3.14	12.29
		06-jul	03-ago	9468	10.1	10.05	10.7	28	3.1		
10	2mm-15 [kg/m3]	06-jul	13-jul	9385	9.95	10.05	9.15	7	2.8	2.89	3.22
		06-jul	13-jul	9505	10.05	9.95	10.1	7	3.0		
		06-jul	03-ago	9485	10	9.95	10.9	28	3.3	3.29	17.70
		06-jul	03-ago	9495	10	10.1	11.1	28	3.3		

PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

13

ENSAYOS A COMPRESION

N°	CÓDIGO	FECHA VACIADO	FECHA ROTURA	PESO [g]	ALTURA [cm]	PERIM. [cm]	CARGA [KN]	EDAD [días]	RESIST. [MPa]	PROM. [MPa]	% INCREM.
0	Sin Fibras	22-jun	29-jun	3757.3	20.3	32.1	141.074	7	17.2	17.40	0.00
		22-jun	29-jun	3715.5	20.1	32	143.4	7	17.6		
		22-jun	20-jul	3753.3	20.3	32.1	185.9	28	22.7	22.74	0.00
		22-jun	20-jul	3691.3	19.6	32.3	189.3	28	22.8		
1	2mm-5 [kg/m3]	24-jun	01-jul	3759	20.3	32.1	143	7	17.4	17.54	0.78
		24-jun	01-jul	3698.8	19.9	32.1	144.6	7	17.6		
		24-jun	22-jul	3693.4	19.6	32.4	186.1	28	22.3	23.27	2.37
		24-jun	22-jul	3679.2	19.4	32.3	201.5	28	24.3		
2	3mm-10 [kg/m3]	24-jun	01-jul	3721.2	19.9	32.1	122.4	7	14.9	14.97	-13.96
		24-jun	01-jul	3691.8	19.9	32.2	123.9	7	15.0		
		24-jun	22-jul	3702.3	20.9	32.2	181.2	28	22.0	21.58	-5.09
		24-jun	22-jul	3721.2	20.1	32.1	173.8	28	21.2		
3	3mm-20 [kg/m3]	29-jun	06-jul	3705.4	20	32.4	145.2	7	17.4	17.95	3.13
		29-jun	06-jul	3748.2	20.1	32.1	151.8	7	18.5		
		29-jun	27-jul	3699.1	20.4	32.1	179.5	28	21.9	21.45	-5.65
		29-jun	27-jul	3652.5	20.1	32.1	172.3	28	21.0		
4	2mm-25 [kg/m3]	29-jun	06-jul	3696.1	20	32	145	7	17.8	18.27	4.99
		29-jun	06-jul	3676.5	19.7	32.1	153.7	7	18.7		
		29-jun	27-jul	3767.8	20.1	32.1	178.9	28	21.8	21.06	-7.37
		29-jun	27-jul	3759.3	20.1	32.2	167.5	28	20.3		
5	1mm-20 [kg/m3]	01-jul	08-jul	3765	20.2	32.1	204.6	7	25.0	25.23	44.97
		01-jul	08-jul	3679.6	20	32	207.8	7	25.5		
		01-jul	29-jul	3738.2	20	32.1	246	28	30.0	30.25	33.03
		01-jul	29-jul	3772	20.4	32.1	250	28	30.5		
6	1mm-10 [kg/m3]	01-jul	08-jul	3720.9	19.8	32.3	155.7	7	18.8	20.13	15.66
		01-jul	08-jul	3710.4	20.1	32	175.2	7	21.5		
		01-jul	29-jul	3701.1	19.5	32.3	216.2	28	26.0	25.90	13.91
		01-jul	29-jul	3738.2	20.3	32.1	211.2	28	25.8		
7	2mm-15 [kg/m3]	06-jul	13-jul	3720.4	19.9	32.1	125.8	7	15.342	15.46	-11.13
		06-jul	13-jul	3732.3	19.8	32.3	129.4	7	15.586		
		06-jul	03-ago	3695.8	19.8	32.1	183.4	28	22.367	20.98	20.54
		06-jul	03-ago	3686.5	19.7	32.4	163.6	28	19.584		
8	2mm-15 [kg/m3]	06-jul	13-jul	3755.5	20.1	32.2	219.2	7	26.567	25.13	44.40
		06-jul	13-jul	3756.4	19.8	32.4	197.9	7	23.69		
		06-jul	03-ago	3785.5	20.2	32.1	236	28	28.781	27.61	58.66
		06-jul	03-ago	3785.5	19.9	32.3	219.5	28	26.439		
9	2mm-15 [kg/m3]	06-jul	13-jul	3723.1	20	32	140.5	7	17.2	17.05	-2.03
		06-jul	13-jul	3767.8	20	31.9	136.5	7	16.9		
		06-jul	03-ago	3721.1	19.95	32.1	208	28	25.4	25.95	49.12
		06-jul	03-ago	3777.8	20.05	32	216.2	28	26.5		
10	2mm-15 [kg/m3]	06-jul	13-jul	3768	20.1	32	144.7	7	17.8	17.74	1.94
		06-jul	13-jul	3790.6	19.9	32.1	145.3	7	17.7		
		06-jul	03-ago	3780.1	19.95	32.1	213.5	28	26.0	26.66	53.20
		06-jul	03-ago	3751.8	20.05	32	222.3	28	27.3		

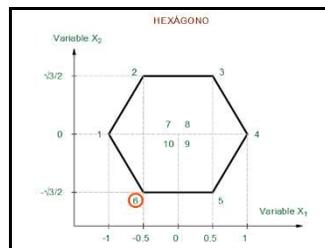
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

24

ENSAYO DE FLEXIÓN ASTM C1609-10

Revolvadura :	6
Ancho [mm] :	1 mm
Dosificación [Kg/m^3] :	10 Kg/m^3



Fecha de vaciado:	Fecha de rotura:	Edad:	Peso [kg]	Base [mm]	Altura [mm]	P _p [KN]	P _{D150} [KN]	f _p [Mpa]	f _{D300} [Mpa]	R _{e,3} [%]
01/07/2021	08/07/2021	7	9.345	100.5	100.5	10.05	3.25	4.4553	1.4408	32.34



Carga [KN]	Def. [mm]	Area
0	0	0
1	0.002	0.003
2	0.005	0.008
3	0.008	0.011
4	0.01	0.009
5	0.012	0.011
6	0.014	0.013
7	0.018	0.030
8	0.02	0.017
9	0.022	0.019
10	0.026	0.042
10.05	0.026	0.000
2.85	0.857	5.360
2.95	1	0.429
3.3	1.5	1.738
3.25	2	1.638
Total [J]		9.32595
Tenacidad [J]		

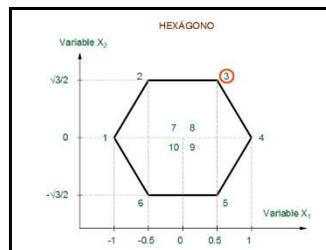
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

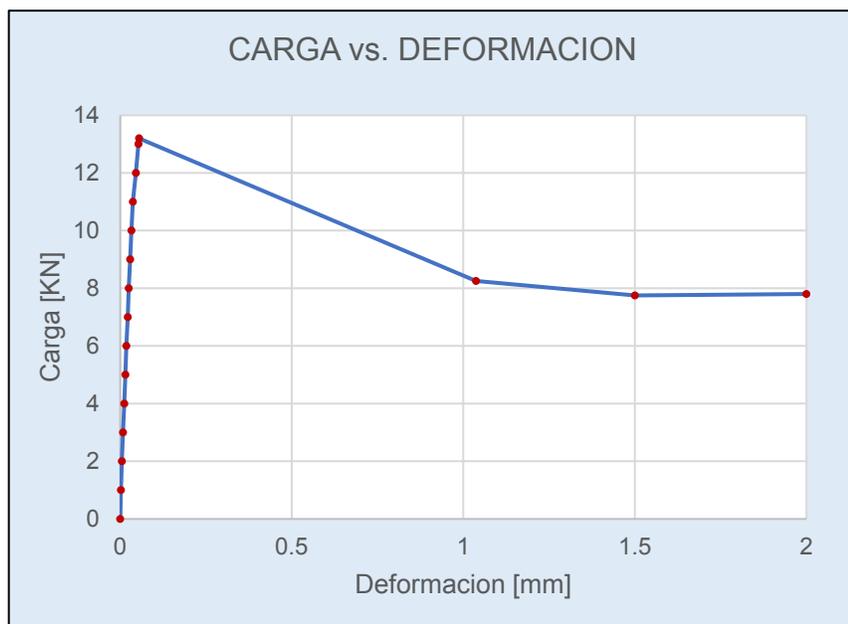
38

ENSAYO DE FLEXIÓN ASTM C1609-10

Revoltura :	3
Ancho [mm] :	3 mm
Dosificación [Kg/m^3] :	20 Kg/m^3



Fecha de vaciado:	Fecha de rotura:	Edad:	Peso [kg]	Base [mm]	Altura [mm]	P_p [KN]	P_{D150} [KN]	f_p [Mpa]	f_{D300} [Mpa]	$R_{e,3}$ [%]
29/06/2021	27/07/2021	28	9.38	100	105	13.2	7.8	5.3878	3.1837	59.09



Carga [KN]	Def. [mm]	Area
0	0	0
1	0.002	0.003
2	0.005	0.008
3	0.008	0.011
4	0.012	0.018
5	0.015	0.017
6	0.018	0.020
7	0.022	0.030
8	0.025	0.026
9	0.029	0.038
10	0.033	0.042
11	0.037	0.046
12	0.046	0.113
13	0.053	0.095
13.2	0.055	0.027
8.25	1.037	10.532
7.75	1.5	3.704
7.8	2	3.913
	Total [J]	18.6386
	Tenacidad [J]	

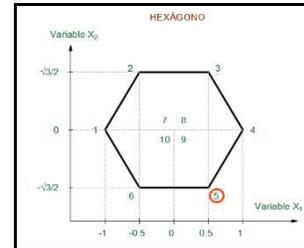
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

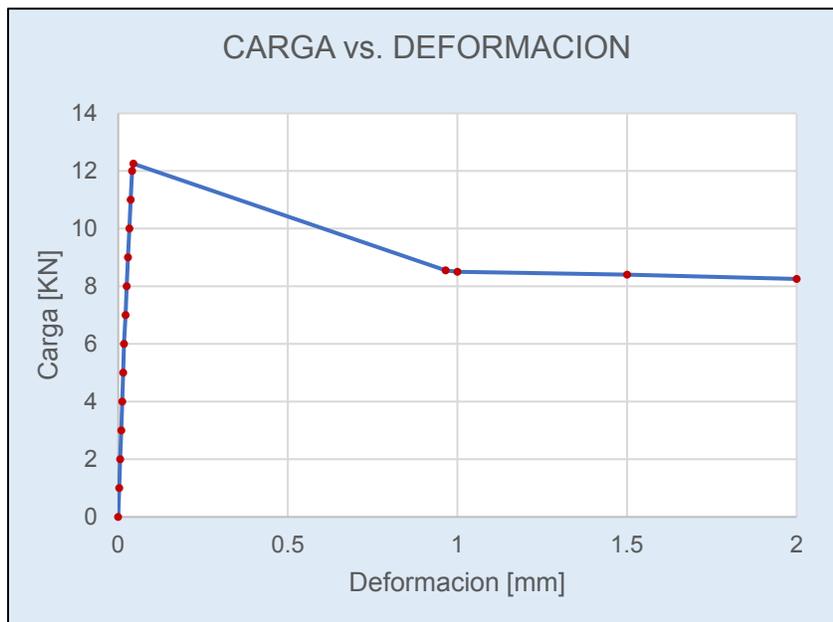
43

ENSAYO DE FLEXIÓN ASTM C1609-10

Revoltura :	5
Ancho [mm] :	1 mm
Dosificación [Kg/m ³] :	20 Kg/m3



Fecha de vaciado:	Fecha de rotura:	Edad:	Peso [kg]	Base [mm]	Altura [mm]	P _P [KN]	P _{D150} [KN]	f _P [Mpa]	f _{D300} [Mpa]	R _{e,3} [%]
01/07/2021	29/07/2021	28	9.486	101	101	12.25	8.25	5.3504	3.6033	67.35



Carga [KN]	Def. [mm]	Area
0	0	0
1	0.003	0.005
2	0.006	0.008
3	0.009	0.011
4	0.012	0.014
5	0.015	0.017
6	0.017	0.013
7	0.022	0.038
8	0.025	0.026
9	0.029	0.038
10	0.033	0.042
11	0.037	0.046
12	0.041	0.050
12.25	0.045	0.050
8.55	0.965	9.568
8.5	1	0.298
8.4	1.5	4.225
8.25	2	4.163
Total [J]	18.608	
Tenacidad [J]		

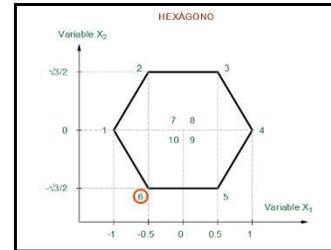
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla :

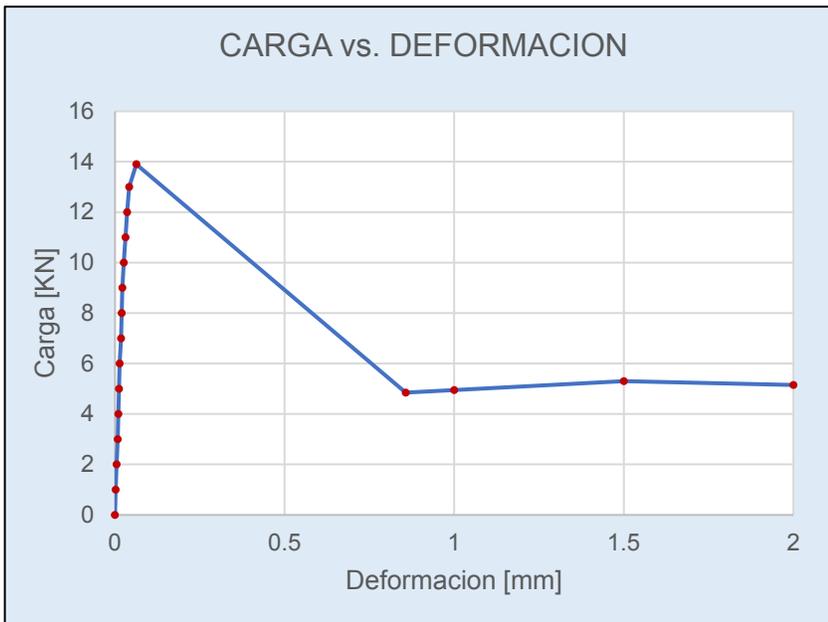
44

ENSAYO DE FLEXIÓN ASTM C1609-10

Revoltura :	6
Ancho [mm] :	1 mm
Dosificación [Kg/m ³] :	10 Kg/m ³



Fecha de vaciado:	Fecha de rotura:	Edad:	Peso [kg]	Base [mm]	Altura [mm]	P _p [KN]	P _{D150} [KN]	f _p [Mpa]	f _{D300} [Mpa]	R _{e,3} [%]
01/07/2021	29/07/2021	28	9.428	101	101	13.9	5.15	6.071	2.2493	37.05



Carga [KN]	Def. [mm]	Area
0	0	0
1	0.002	0.003
2	0.005	0.008
3	0.008	0.011
4	0.01	0.009
5	0.012	0.011
6	0.014	0.013
7	0.018	0.030
8	0.02	0.017
9	0.022	0.019
10	0.026	0.042
11	0.031	0.058
12	0.036	0.063
13	0.042	0.081
13.9	0.063	0.301
4.85	0.857	7.444
4.95	1	0.715
5.3	1.5	2.738
5.15	2	2.613
Total [J]	14.1731	
Tenacidad [J]		

ANEXO 4: MÉTODO DEL HEXÁGONO

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS FACULTAD DE INGENIERÍA INGENIERÍA CIVIL	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. HUGO MANSILLA ROMERO" ANEXO: 4
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido	Planilla: 1

Diseño experimental del modelo del Hexágono

Para este proyecto se desarrolló los fundamentos de diseño experimental del modelo del hexágono. Se identificaron los siguientes parámetros:

Factor 1(X_1): Cantidad de fibras expresadas en Kg/m^3 , que varía en cinco niveles:

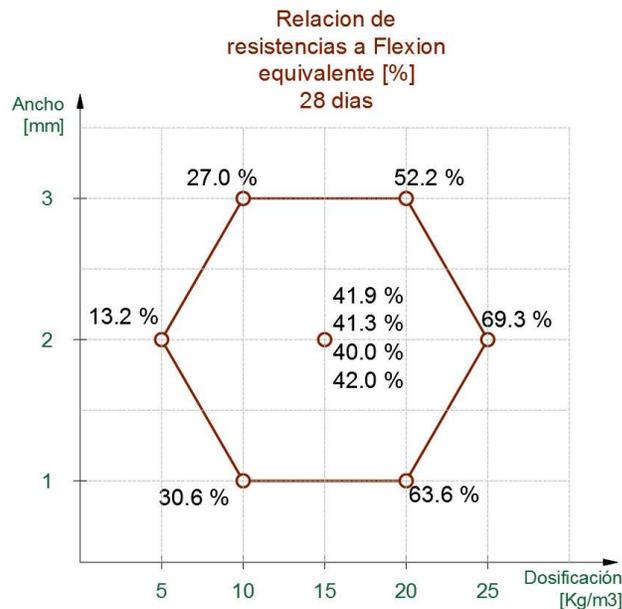
5 Kg/m^3 , 10 Kg/m^3 , 15 Kg/m^3 , 20 Kg/m^3 , 25 Kg/m^3

Factor 2(X_2): Ancho de fibras, que varía en tres niveles:

1 mm, 2 mm, 3 mm

Variable de control (Y): Relación de Resistencia a la Flexión Equivalente [%], a los 28 días de edad.

En el siguiente grafico se muestra los resultados las resistencias residuales a flexión equivalente (R^D_{T150}) que se resumen en la tabla 4.3 (pag.52)



Esquema del Relación de Resistencia a la Flexión Equivalente [%]

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS FACULTAD DE INGENIERÍA INGENIERÍA CIVIL	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. HUGO MANSILLA ROMERO" ANEXO: 4
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido	Planilla: 2

La forma de ecuación cuadrática utilizada es:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{12}x_1x_2$$

Donde:

$$x_1 = \text{Cantidad de fibras } \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$x_2 = \text{Ancho de fibras [mm]}$$

$$y = \text{Resistencia residual [\%]}$$

Punto hexágono	Contenido de Fibras X ₁	Ancho de Fibras [mm] X ₂	C.R. [%] Y
1	5	2	13.2%
2	10	3	27.0%
3	20	3	52.2%
4	25	2	69.3%
5	20	1	63.6%
6	10	1	30.6%
7	15	2	41.9%
8	15	2	41.3%
9	15	2	40.0%
10	15	2	42.0%

Punto hexágono	Contenido de Fibras X ₁	Ancho de Fibras [mm] X ₂	Matriz del experimento				
			X ₁	X ₂	X ₁ ²	X ₂ ²	X ₁ *X ₂
1	5	2	-1.00	0.00	1.00	0.00	0.00
2	10	3	-0.50	0.87	0.25	0.75	-0.43
3	20	3	0.50	0.87	0.25	0.75	0.43
4	25	2	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00
5	20	1	0.50	-0.87	0.25	0.75	-0.43
6	10	1	-0.50	-0.87	0.25	0.75	0.43
7	15	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	15	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	15	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	15	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla:

3

\hat{Y}_i	$X_1^2 * Y_1$	$X_2^2 * Y_1$	$X_1 * Y_1$	$X_2 * Y_1$	$X_1 * X_2 * Y_1$	$(Y_i - Y_o)^2$	\hat{Y} (Ec,Reg)	$(Y - Y_i)^2$	
13.20	13.20	0.00	-13.20	0.00	0.00	-	12.85	0.1225	
27.00	6.75	20.25	-13.50	23.38	-11.69	-	27.35	0.1225	
52.20	13.05	39.15	26.10	45.21	22.60	-	51.85	0.1225	
69.30	69.30	0.00	69.30	0.00	0.00	-	69.65	0.1225	
63.60	15.90	47.70	31.80	-55.08	-27.54	-	63.25	0.1225	
30.60	7.65	22.95	-15.30	-26.50	13.25	-	30.95	0.1225	
41.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36	41.30	0.3600	
41.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	41.30	0.0000	
40.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.69	41.30	1.6900	
42.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.49	41.30	0.4900	
Σ	421.10	125.85	130.05	85.20	-12.99	-3.38	2.54	421.10	3.28

Determinamos los coeficientes a través de la ecuación:

$$b_o = \frac{1}{4} * (\sum y_i) - \frac{1}{4} * (\sum X_1^2 * Y_i + \sum X_2^2 * Y_i)$$

$$b_1 = \frac{1}{3} * (\sum X_1 * Y_i)$$

$$b_2 = \frac{1}{3} * (\sum X_2 * Y_i)$$

$$b_{11} = \frac{2}{3} * (\sum X_1^2 * Y_i) - \frac{1}{4} * (\sum Y_i) + \frac{1}{12} * (\sum X_1^2 * Y_i) + \frac{1}{12} * (\sum X_2^2 * Y_i)$$

$$b_{22} = \frac{2}{3} * (\sum X_2^2 * Y_i) - \frac{1}{4} * (\sum Y_i) + \frac{1}{12} * (\sum X_1^2 * Y_i) + \frac{1}{12} * (\sum X_2^2 * Y_i)$$

$$b_{12} = \frac{4}{3} * (\sum X_1 * X_2 * Y_i)$$

Reemplazando tenemos:

$$b_o = 41.30$$

$$b_1 = 28.40$$

$$b_2 = -4.33$$

$$b_{11} = -0.05$$

$$b_{22} = 2.75$$

$$b_{12} = -4.50$$

Obtención de la media del parámetro Y1 de los puntos del centro:

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS FACULTAD DE INGENIERÍA INGENIERÍA CIVIL	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. HUGO MANSILLA ROMERO" ANEXO: 4
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido	Planilla: 4

$$\bar{y}_i = \frac{\sum_{i=1}^n y_{ij}}{n}$$

$$y_0 = 41.30$$

Análisis estadístico:

Hallando la media de las diferentes dosificaciones

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_{ij}}{n}$$

n = numero de replicas obtenidas del parametro de salida

$$S_{bo} = T_7(S_{yo})$$

Se procede al cálculo de la varianza de las réplicas obtenidas del parámetro de salida (4 valores de control):

$$S_{yo} = \sqrt{\frac{\sum (y_{ii} - \bar{y})^2}{n - 1}}$$

$$S_{yo} = 0.95$$

$$S_{yo}^2 = 0.89667$$

Para los coeficientes de medición de confiabilidad:

$$T_7 = 0.5$$

$$T_8 = 0.577$$

$$T_9 = 0.866$$

$$T_{10} = 1.154$$

$$S_{bo} = T_7 * (S_{yo})$$

$$S_{bo} = 0.46$$

$$S_{b1} = T_8 * (S_{yo})$$

$$S_{b1} = 0.53$$

$$S_{b11} = S_{b22} = T_9 * (S_{yo})$$

$$S_{b11} = 0.80$$

$$S_{b12} = T_{10} * (S_{yo})$$

$$S_{b12} = 1.06$$

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS FACULTAD DE INGENIERÍA INGENIERÍA CIVIL	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. HUGO MANSILLA ROMERO" ANEXO: 4
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido	Planilla: 5

En el análisis de la significación se utiliza t de Student y la validación a través del criterio de Fisher (Fc):

$$F_c = \frac{S_{er}^2}{S_{yo}^2}$$

La ecuación de regresión resulta adecuada (para el nivel de significación asumido 5%) si: $F_c \leq F_t$, donde F_c es el valor de Fisher de cálculo y F_t el de la tabla.

Cuando la ecuación de regresión resulta significativa, esta se puede aceptar.

De la tabla de la t de Student en los intervalos de confianza 0.95 se necesita el cuantil 0.975, ya que $(1-\alpha) = 0.95$ implica $(1-\alpha/2) = 0.975$ Así, si se tiene 3 grados de libertad (4-1), el cuantil sería de 3.18.

$$\alpha = 0.05 ; v = r - 1 = 3 ; t_t = 3.18$$

$$t_p(b_0) = \frac{|b_0|}{S_{b_0}} \qquad t_p(b_0) = 87.768$$

$$t_p(b_1) = \frac{|b_1|}{S_{b_1}} \qquad t_p(b_1) = 52.492$$

$$t_p(b_2) = \frac{|b_2|}{S_{b_2}} \qquad t_p(b_2) = 8.156$$

$$t_p(b_{11}) = \frac{|b_{11}|}{S_{b_{11}}} \qquad t_p(b_{11}) = 0.063$$

$$t_p(b_{22}) = \frac{|b_{22}|}{S_{b_{22}}} \qquad t_p(b_{22}) = 3.451$$

$$t_p(b_{12}) = \frac{|b_{12}|}{S_{b_{12}}} \qquad t_p(b_{12}) = 4.241$$

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS FACULTAD DE INGENIERÍA INGENIERÍA CIVIL	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. HUGO MANSILLA ROMERO" ANEXO: 4
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido	Planilla: 6

	tp		tt	OBSERVACIONES
tp (bo) =	89.7685	>	3.18	Es significativo
tp (b1) =	53.4917	>	3.18	Es significativo
tp (b2) =	8.1558	>	3.18	Es significativo
tp (b11) =	0.0627	>	3.18	Es significativo
tp (b22) =	3.4511	>	3.18	Es significativo
tp (b12) =	4.2410	>	3.18	Es significativo

De la ecuación:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{12}x_1x_2$$

Tenemos:

$$Y = 41.4 + 28.6x_1 - 4.4x_2 + 0.10x_1^2 + 2.63x_2^2 - 4.62x_1x_2$$

Prueba de Fisher para determinar si la ecuación si la ecuación es adecuada para el modelo.

Punto	X _i	X _j	Y _{calc}	Y _i	(Y _c -Y _i) ²
1	-1.00	0.00	12.85	13.20	0.122
2	-0.50	0.87	27.35	27.00	0.122
3	0.50	0.87	51.85	52.20	0.123
4	1.00	0.00	69.65	69.30	0.123
5	0.50	-0.87	63.25	63.60	0.123
6	-0.50	-0.87	30.95	30.60	0.123
7	0.00	0.00	41.30	41.90	0.360
8	0.00	0.00	41.30	41.30	0.000
9	0.00	0.00	41.30	40.00	1.690
10	0.00	0.00	41.30	42.00	0.490
Σ	0.00	0.00	421.10	421.10	3.28

Número de experimentos: n = 4

Número de réplicas: k = 4

Criterio de Fisher:

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS FACULTAD DE INGENIERÍA INGENIERÍA CIVIL	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. HUGO MANSILLA ROMERO" ANEXO: 4
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido	Planilla: 7

$$S_{ad}^2 = \sum \frac{(\hat{Y} - Y)^2}{N - K}$$

$$S_{ad}^2 = 0.54583$$

$$S_{yo}^2 = 0.84667$$

$$F_c = \frac{S_{ad}^2}{S_{yo}^2}$$

$$F_c = 0.644685$$

Estadígrafo de tabla:

$$P_1 = n - k = 6$$

$$P_2 = k - 1 = 3$$

Para una significancia del 5%:

$$\alpha = 0.05$$

$$F_t = 8.94$$

$$0.64 < 8.94 \quad ; \quad \text{Cumple}$$

Si $F_c < F_t$, el modelo es adecuado

La ecuación en variables generalizadas es la siguiente:

$$Y = 41.3 + 28.4x_1 - 4.3x_2 + 0.05x_1^2 + 2.75x_2^2 - 4.50x_1x_2$$

Para los siguientes valores tenemos:

$$X_2 = -0.87 \quad Y = 47.113 + 32.300X_1 + 0.050X_1^2$$

$$X_2 = 0 \quad Y = 41.300 + 28.400X_1 + 0.050X_1^2$$

$$X_2 = +0.87 \quad Y = 39.613 + 24.500X_1 + 0.050X_1^2$$

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS FACULTAD DE INGENIERÍA INGENIERÍA CIVIL	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. HUGO MANSILLA ROMERO" ANEXO: 4
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido	Planilla: 8

Tabla de valores para cada valor de la variable generalizada:

Dosif. [Kg/m ³]	Relación de Resistencia a la Flexión Equivalente [%]			
	X	1 [mm]	2 [mm]	3 [mm]
5	-1.00	14.8	12.9	15.1
10	-0.50	31.0	27.1	27.4
15	0.00	47.1	41.3	39.6
20	0.50	63.3	55.5	51.9
25	1.00	79.4	69.7	64.1

Con base a la tabla que muestra valores calculados de la capacidad residual en [%] se determinaron por un proceso de regresión las ecuaciones de comportamiento de la resistencia en función a la cantidad de fibras añadidas por cada ancho de fibra.

Dosif. [Kg/m ³]	Relación de Resistencia a la Flexión Equivalente [%]		
	1 [mm]	2 [mm]	3 [mm]
5	14.8	12.9	15.1
10	31.0	27.1	27.4
15	47.1	41.3	39.6
20	63.3	55.5	51.9
25	79.4	69.7	64.1

Para 1 mm:

$$Y = 0.0005 + 3.25X_1 - 1.45X_1^2$$

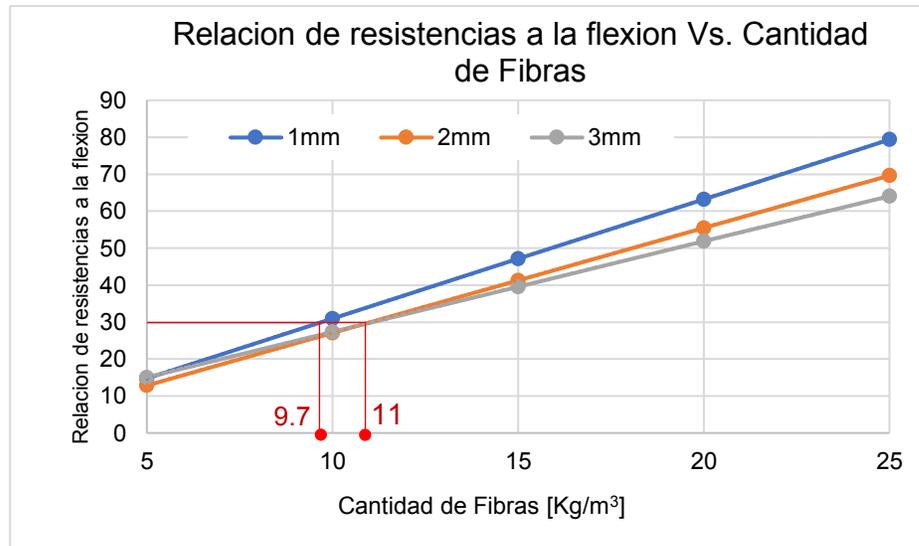
Para 2 mm:

$$Y = 0.0005 + 2.86X_1 - 1.41X_1^2$$

Para 3 mm:

$$Y = 0.001 + 2.47X_1 + 2.75X_1^2$$

A partir de las ecuaciones encontradas con la regresión, graficamos:



Relación de resistencias a flexión vs cantidad de fibras

Según la Norma ASTM C1609/1609M-10, que menciona al informe técnico de N° 34 de la sociedad del concreto establece el valor de la relación de resistencias a flexión entre el 30% al 35% aproximadamente

Cabe mencionar que la EHE-08, anejo 14 que para que las fibras puedan ser consideradas con función estructural la resistencia característica residual en FR3 no será menor al 20% de la carga máxima.

Considerando las normas anteriormente mencionadas, para esta investigación se adoptó una relación de resistencias a la flexión de un 30%, que está dentro del rango establecido en la ASTM 1609 y que es mayor a lo que establece la EHE-08 anejo 14.

Con este valor del 30%, se interseca en las rectas generadas en la gráfica: Relación de resistencias a la flexión Vs. Cantidad de Fibras

PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla:

10

Para fibras de 1 mm, la dosificación será de: 9.7 [Kg/m³]

Para fibras de 2 mm, la dosificación será de: 11.0 [Kg/m³]

Para fibras de 3 mm, la dosificación será de: 11.1 [Kg/m³]

Se adoptarán valores de dosificación de:

Dosificaciones adoptadas

Ancho de Fibras [mm]	Dosificación [Kg/m ³]
1 mm	10
2 mm	11
3 mm	11

ANEXO 5: DOSIFICACIONES ÓPTIMAS

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES FAULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA CIVIL	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. HUGO MANSILLA ROMERO" ANEXO: 5
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido	Planilla : 1

Dosificación N°: 0 Fibras: 0 [kg/m3] Espesor de fibra: 0 [mm]

CARACTERISTICAS:

MATERIAL	% humedad	% absorción	Pe	PUC	PU
				kg/m3	kg/m3
Agua	***	***	1,000	1000,000	
Cemento	***	***	2,810	1407,000	
Grava	2,430	1,927	2,573	1569	1461
Arena	8,600	2,092	2,554	1571	1455
Aire tablas=			1,6		

INFORMACIÓN INICIAL

Resistencia característica [Mpa]	21
Resistencia media [Mpa]	26,20

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN NORMAL - ACI 211,1

Grava:	Hampaturi, chancado
Arena:	Chacoma
Cemento:	Viacha

DOSIFICACIÓN GRAVIMÉTRICA

Material	Base aprobada (firmada), kg/m3	Operativa seco	Dosificación operativa, Kg		Seco ejecutado, g	Volumenes absolutos materiales, L	Ajustada por PU, kg/m3	DRE, kg/m3	Volumen suelto seco, L	Observaciones
			Vr, m3 = 0,073000 Vr (producido), m3 = 0,07291700							
			Calculada	Ejecutada						
Agua	234,727	17,135	13,921	13,921	17,135	17,135	232,994	234,994	234,994	
Cemento	431,960	31,533	31,533	31,533	31,533	11,222	428,771	432,451	307,357	
Grava	956,065	69,793	71,489	71,489	69,793	27,125	957,153	957,153	655,133	
Arena	602,661	43,994	47,778	47,778	43,994	17,226	611,784	603,331	414,549	
TOTAL	2225,413	162,455	164,720	164,720	162,455	72,707	2230,702	2227,929	1612,033	
%G =	61,3						61,0	61,3		
%A =	38,7						39,0	38,7		Pm = 164,720
Relación a/c	0,543						0,543	0,543		Vm = 72,707

Volumen de revolutura (calculado), L =	73,000
As (buscado), cm =	4,000
as (obtenido), cm =	5,000
Agua sobrante/aumentada =	0,000
P(horm+recip), g =	18130
Peso recip, g =	2373,200

Vol recip, [cm3] =	6974,000
PU horm, kg/m3 =	2,259
Rendimiento, l =	72,917
aire, % (calculado) =	0,288
aire, % (asumido) =	0,288
Vreal (producido), m3 =	72,917

Calculando la dosif operativa (DRE) para un volumen realmente producido Vreal		
verificación de cálculo, Kg	Agua	17,135
	Cemento	31,533
	Grava	69,793
	Arena	43,994

Ensayos a compresión

Probeta	Fecha de		Edad	Perímetro	Carga	Peso	Altura	PU	Resistencia [MPa]		códificación
	Vaciado	Ensayo							[dias]	[cm]	
1	02-ago-21	09-ago-21	7	32,2	170,9	3699	19,3	2323	20,7	21,5	
2	02-ago-21	09-ago-21	7	32,1	183,3	3731	20,0	2275	22,4		
3	02-ago-21	30-ago-21	28	33,0	235,2	3941	20,0	2274	27,1	28,2	
4	02-ago-21	30-ago-21	28	32,2	241,4	3717	19,7	2286	29,3		

Ensayos a flexión

Probeta	Fecha de		Edad	Base de la viga	Carga	Peso	Altura de la viga	PU	Resistencia [MPa]		códificación
	Vaciado	Ensayo							[dias]	[cm]	
1	02-ago-21	09-ago-21	7	10,0	11,2	9393	10,1	116867	3,3	3,09	
2	02-ago-21	09-ago-21	7	10,0	9,8	9412	10,1	117104	2,9		
3	02-ago-21	30-ago-21	28	10,0	13,1	9438	10,1	118010	3,9	3,7	
4	02-ago-21	30-ago-21	28	10,0	11,9	9403	10,0	118163	3,6		

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES FAULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA CIVIL	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. HUGO MANSILLA ROMERO" ANEXO: 5
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido	Planilla : 2

Ensayos a tracción

Probeta	Fecha de		Edad	Perímetro	Carga	Peso	Altura	PU	Resistencia [MPa]	
	Vaciado	Ensayo							[días]	[cm]
1	02-ago-21	09-ago-21	7	32,1	64,2	3716,8	20,3	2232,9	2,0	2,0
2	02-ago-21	09-ago-21	7	31,9	65,1	3715,1	20	2293,9	2,0	
3	02-ago-21	30-ago-21	28	32	94,1	3701,5	20	2271,2	2,9	2,8
4	02-ago-21	30-ago-21	28	32	87,7	3705,4	20	2273,6	2,7	

Ensayos de Impacto

Probeta	Fecha de		Edad	Número de golpe	
	Vaciado	Ensayo		[días]	A la Primera Fisura
1	02-ago-21	09-ago-21	7	6	8
3	02-ago-21	09-ago-21	7	7	8
6	02-ago-21	30-ago-21	28	78	80
8	02-ago-21	30-ago-21	28	56	57

Ensayos de ciclos de congelamiento y Descongelamiento

Probeta	Fecha de		Edad	Base de la viga	Carga	Peso	Altura de la viga	PU	Resistencia [MPa]	
	Vaciado	Ensayo							[días]	[cm]
6	02-ago-21	30-ago-21	28	10	2,4	9314,6	10	117050,7	0,72	0,78
8	02-ago-21	30-ago-21	28	10	2,8	9373,4	10,05	117203,6	0,83	

Ensayo de fisuración

	0,20-0,16	0,15-0,10	0,09-0,05	< 0,05	Total
N° fisura	1	10	52	27	90
Long	-	-	-	-	71,10
Ancho promedio	0,18	0,11	0,07	0,04	0,09
Ancho máximo	0,18	0,15	0,09	0,04	
Ancho mínimo	0,18	0,10	0,05	0,03	

Planilla de fisuración

Lectura de fisuras			Lectura de fisuras			Lectura de fisuras		
N°	Largo	Ancho	N°	Largo	Ancho	N°	Largo	Ancho
1	1,00	0,09	33	1,40	0,07	65	1	0,05
2	1,20	0,08	34	1,40	0,06	66	0,7	0,04
3	2,50	0,27	35	1,90	0,05	67	2,1	0,04
4	2,60	0,11	36	2,00	0,09	68	0,5	0,04
5	4,00	0,18	37	0,4	0,06	69	0,4	0,04
6	1,70	0,07	38	1	0,06	70	1,1	0,04
7	1,80	0,06	39	1,5	0,07	71	2,6	0,06
8	0,90	0,07	40	0,8	0,06	72	2,3	0,06
9	0,80	0,08	41	0,6	0,13	73	0,9	0,04
10	0,30	0,05	42	0,9	0,10	74	1,1	0,03
11	0,20	0,05	43	1,5	0,08	75	0,8	0,04
12	0,20	0,05	44	1,3	0,07	76	0,3	0,04
13	0,30	0,05	45	0,6	0,04	77	0,7	0,04
14	1,00	0,07	46	1,5	0,04	78	0,7	0,03
15	1,00	0,08	47	1,5	0,04	79	0,4	0,03
16	0,60	0,10	48	1,2	0,04	80	0,4	0,04
17	2,30	0,07	49	1,2	0,04	81	0,6	0,05
18	3,50	0,11	50	0,7	0,04	82	1,8	0,05
19	0,70	0,06	51	1,2	0,06	83	1	0,03
20	1,20	0,08	52	1,4	0,06	84	2	0,04
21	2,30	0,06	53	1,1	0,04	85	0,6	0,04
22	1,90	0,09	54	0,7		86	0,9	0,06
23	1,10	0,07	55	2,9	0,08	87	0,5	0,05
24	1,20	0,09	56	2	0,10	88	1	0,06
25	2,20	0,08	57	1,2	0,09	89	0,7	0,09
26	2,50	0,09	58	0,3	0,05	90	0,3	0,05
27	2,30	0,04	59	0,7	0,03	91	1,6	0,05
28	1,50	0,12	60	1,1	0,04	92	2,7	0,11
29	1,40	0,07	61	1,7	0,06	93	2	0,05
30	1,20	0,09	62	2	0,06	94	1,5	0,04
31	0,70	0,23	63	1,9				
32	2,50	0,11	64	2,6	0,15			

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES FAULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA CIVIL	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. HUGO MANSILLA ROMERO" ANEXO: 5
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido	Planilla : 3

Dosisificación N°: 3 Fibras: 10 [kg/m3] Espesor de fibra: 1 [mm]

CARACTERISTICAS:

MATERIAL	% humedad	% absorción	Pe	PUC	PUs
				kg/m3	kg/m3
Agua	***	***	1,000	1000,000	
Cemento	***	***	2,810	1407,000	
Grava	2,555	1,927	2,573	1569	1461
Arena	8,025	2,092	2,554	1571	1455
Aire tablas=			1,6		

INFORMACIÓN INICIAL

Resistencia característica [Mpa]	21
Resistencia media [Mpa]	26,20

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN NORMAL - ACI 211,1

Grava:	Hampaturi, chancado
Arena:	Chacoma
Cemento:	Viacha

DOSIFICACIÓN GRAVIMÉTRICA

Material	Base aprobada (firmada), kg/m3	Operativa seco	Dosificación operativa, Kg		Seco ejecutado, g	Volumenes absolutos materiales, L	Ajustada por PU, kg/m3	DRE, kg/m3	Volumen suelto seco, L	Observaciones
			Vr, m3 = 0,074000 Vr (producido), m3 = 0,07451000							
			Calculada	Ejecutada						
Agua	234,727	17,370	14,280	14,280	17,370	17,370	233,120	233,120	233,120	
Cemento	431,960	31,965	31,965	31,965	31,965	11,375	429,003	429,003	304,906	
Grava	956,065	70,749	72,556	72,556	70,749	27,497	949,521	949,521	649,909	
Arena	602,661	44,597	48,176	48,176	44,597	17,462	598,521	598,521	411,244	
TOTAL	2225,413	164,681	166,977	166,977	164,681	73,703	2210,165	2210,165	1599,180	
%G =	61,3						61,3	61,3		
%A =	38,7						38,7	38,7		Pm = 166,977
Relación a/c	0,543						0,543	0,543		Vm = 73,703

Volumen de revolutura (calculado), L =	74,000
As (buscado), cm =	4,000
as (obtenido), cm =	4,000
Agua sobrante/aumentada =	0,000
P(horm+recip), g =	18000
Peso recip, g =	2373,200

Vol recip, [cm3] =	6974,000
PU horm, kg/m3 =	2,241
Rendimiento, l =	74,510
aire, % (calculado) =	1,083
aire, % (asumido) =	1,083
Vreal (producido), m3 =	74,510

Calculando la dosif operativa (DRE) para un volumen realmente producido Vreal		
verificación de cálculo, Kg	Agua	17,370
	Cemento	31,965
	Grava	70,749
	Arena	44,597

Ensayos a compresión

Probeta	Fecha de		Edad	Perímetro	Carga	Peso	Altura	PU	Resistencia [MPa]		códificación
	Vaciado	Ensayo							[días]	[cm]	
1	12-ago-21	19-ago-21	7	32,2	144,3	3694	19,6	2291	17,5	17,6	
2	12-ago-21	19-ago-21	7	33,0	153,1	3892	19,8	2268	17,7		
3	12-ago-21	09-sep-21	28	32,0	182,4	3668	19,9	2262	22,4	24,0	
4	12-ago-21	09-sep-21	28	32,0	208,3	3704	20,0	2273	25,6		

Ensayos a flexión

Probeta	Fecha de		Edad	Base de la viga	Carga	Peso	Altura de la viga	PU	Resistencia [MPa]		códificación
	Vaciado	Ensayo							[días]	[cm]	
1	12-ago-21	19-ago-21	7	10,1	10,2	9285	10,1	113247	3,0	3,2	
2	12-ago-21	19-ago-21	7	10,1	11,5	9338	10,0	115033	3,4		
3	12-ago-21	09-sep-21	28	10,1	12,5	9375	10,1	114345	3,6	3,7	
4	12-ago-21	09-sep-21	28	10,0	12,4	9249	10,0	116226	3,7		

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS FAULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA CIVIL	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. HUGO MANSILLA ROMERO" ANEXO: 5
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido	Planilla : 4

Ensayos a tracción

Probeta	Fecha de		Edad	Perímetro	Carga	Peso	Altura	PU	Resistencia [MPa]		códificación
	Vaciado	Ensayo							[días]	[cm]	
1	12-ago-21	19-ago-21	7	32,2	56,2	3699,5	19,6	2287,6	1,8	1,8	
2	12-ago-21	19-ago-21	7	32	60,5	3669,4	19,8	2274,3	1,9		
3	12-ago-21	09-sep-21	28	32,2	103,5	3680,5	19,8	2252,9	3,2	2,9	
4	12-ago-21	09-sep-21	28	32	82,8	3755,5	20,2	2281,5	2,6		

Ensayos de Impacto

Probeta	Fecha de		Edad	Número de golpe	
	Vaciado	Ensayo		[días]	A la Primera Fisura
1	12-ago-21	19-ago-21	7	15	69
2	12-ago-21	19-ago-21	7	14	68
3	12-ago-21	09-sep-21	28	70	133
4	12-ago-21	09-sep-21	28	72	131

Ensayos de ciclos de congelamiento y descongelamiento

Probeta	Fecha de		Edad	Base de la viga	Carga	Peso	Altura de la viga	PU	Resistencia [MPa]		códificación
	Vaciado	Ensayo							[días]	[cm]	
1	12-ago-21	09-sep-21	28	10,05	3,65	9270	10	115334,0	1,1	1,1	
2	12-ago-21	09-sep-21	28	10	3,8	9344	10	117420,2	1,1		

Ensayo de fisuración

	0,20-0,16	0,15-0,10	0,09-0,05	< 0,05	Total
N° fisura	-	3	69	11	83
Long					38,91
Ancho promedio		0,10	0,06	0,03	0,06
Ancho máximo		0,12	0,09	0,04	
Ancho mínimo		0,10	0,05	0,02	

Planilla de fisuración

Lectura de fisuras			Lectura de fisuras			Lectura de fisuras		
N°	Largo	Ancho	N°	Largo	Ancho	N°	Largo	Ancho
1	0,7	0,03	29	0,3	0,06	57	0,4	0,08
2	1,01	0,06	30	1,7	0,06	58	0,6	0,05
3	0,3	0,07	31	0,7	0,07	59	0,6	0,06
4	0,9	0,05	32	0,5	0,05	60	0,4	0,05
5	1,3	0,10	33	0,7	0,05	61	0,6	0,06
6	0,45	0,05	34	0,8	0,05	62	0,4	0,06
7	0,8	0,06	35	1,5	0,07	63	0,4	0,05
8	0,4	0,05	36	1	0,03	64	2	0,08
9	0,3	0,04	37	0,3	0,05	65	1,4	0,05
10	0,25	0,03	38	1,5	0,05	66	0,5	0,05
11	0,3	0,07	39	0,9	0,08	67	0,7	0,06
12	0,7	0,05	40	2,5	0,09	68	0,4	0,03
13	0,7	0,03	41	1,1	0,05	69	0,3	0,05
14	0,7	0,05	42	1,6	0,08	70	1,2	0,08
15	1,2	0,05	43	0,8	0,05	71	0,3	0,04
16	1,5	0,08	44	0,6	0,07	72	2,1	0,04
17	0,7	0,05	45	0,7	0,06	73	1,2	0,04
18	1,4	0,08	46	0,3	0,06	74	1,5	0,05
19	1,1	0,05	47	0,8	0,06	75	0,6	0,05
20	0,25	0,07	48	0,9	0,10	76	0,8	0,05
21	0,3	0,07	49	0,7	0,04	77	0,5	0,05
22	0,8	0,08	50	0,5	0,07	78	1,2	0,06
23	3,1	0,09	51	1,1	0,05	79	3,3	0,06
24	2,1	0,09	52	2,3	0,06	80	0,5	0,02
25	0,85	0,12	53	0,7	0,06	81	1,8	0,06
26	0,6	0,07	54	0,6	0,05	82	1	0,08
27	1,2	0,05	55	0,4	0,05	83	0,6	0,06
28	2	0,09	56	1,15	0,05			

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES FAULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA CIVIL	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. HUGO MANSILLA ROMERO" ANEXO: 5
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido	Planilla : 5

Dosisificación N°: 1 Fibras: 11 [kg/m3] Espesor de fibra: 2 [mm]

CARACTERISTICAS:

MATERIAL	% humedad	% absorción	Pe	PUc	PUs
				kg/m3	kg/m3
Agua	***	***	1,000	1000,000	
Cemento	***	***	2,810	1407,000	
Grava	2,135	1,927	2,573	1569	1461
Arena	8,625	2,092	2,554	1571	1455
Aire tablas=			1,6		

INFORMACIÓN INICIAL

Resistencia característica [Mpa]	21
Resistencia media [Mpa]	26,20

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN NORMAL - ACI 211,1

Grava:	Hampaturi, chancado
Arena:	Chacoma
Cemento:	Viacha

DOSIFICACIÓN GRAVIMÉTRICA

Material	Base aprobada (firmada), kg/m3	Operativa seco	Dosisificación operativa, Kg		Seco ejecutado, g	Volumenes absolutos materiales, L	Ajustada por PU, kg/m3	DRE, kg/m3	Volumen suelto seco, L	Observaciones
			Vr, m3 = 0,074000 Vr (producido), m3 = 0,07454300							
			Calculada	Ejecutada						
Agua	234,727	17,370	14,309	14,309	17,370	17,370	233,017	233,017	233,017	
Cemento	431,960	31,965	31,965	31,965	31,965	11,375	428,813	428,813	304,771	
Grava	956,065	70,749	72,259	72,259	70,749	27,497	949,100	949,100	649,622	
Arena	602,661	44,597	48,443	48,443	44,597	17,462	598,256	598,256	411,062	
TOTAL	2225,413	164,681	166,977	166,977	164,681	73,703	2209,186	2209,186	1598,472	
%G =	61,3						61,3	61,3		
%A =	38,7						38,7	38,7		Pm = 166,977
Relación a/c	0,543						0,543	0,543		Vm = 73,703

Volumen de revolutura (calculado), L =	74,000
As (buscado), cm =	4,000
as (obtenido), cm =	4,000
Agua sobrante/aumentada =	0,000
P(horm+recip), g =	17992
Peso recip, g =	2373,200

Vol recip, [cm3] =	6974,000
PU horm, kg/m3 =	2,240
Rendimiento, l =	74,543
aire, % (calculado) =	1,127
aire, % (asumido) =	1,127
Vreal (producido), m3 =	74,543

Calculando la dosis operativa (DRE) para un volumen realmente producido Vreal		
verificación de cálculo, Kg	Agua	17,370
	Cemento	31,965
	Grava	70,749
	Arena	44,597

Ensayos a compresión

Probeta	Fecha de		Edad	Perímetro	Carga	Peso	Altura	PU	Resistencia [MPa]		códificación
	Vaciado	Ensayo							[días]	[cm]	
1	04-ago-21	11-ago-21	7	33,2	166,8	3940	19,9	2257	19,0	19,2	
2	04-ago-21	11-ago-21	7	32,1	158,2	3672	19,7	2273	19,3		
3	04-ago-21	01-sep-21	28	32,3	189,3	3742	19,8	2277	22,8	23,4	
4	04-ago-21	01-sep-21	28	32,0	195,9	3595	19,5	2262	24,0		

Ensayos a flexión

Probeta	Fecha de		Edad	Base de la viga	Carga	Peso	Altura de la viga	PU	Resistencia [MPa]		códificación
	Vaciado	Ensayo							[días]	[cm]	
1	04-ago-21	11-ago-21	7	10,0	10,1	9173	10,0	115851	3,1	3,1	
2	04-ago-21	11-ago-21	7	10,0	10,7	9292	10,0	117353	3,2		
3	04-ago-21	01-sep-21	28	10,1	12,9	9359	10,0	116441	3,8	3,7	
4	04-ago-21	01-sep-21	28	10,1	12,2	9382	10,0	115575	3,6		

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES FAULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA CIVIL			INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. HUGO MANSILLA ROMERO" ANEXO: 5				
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido						Planilla :	6

Ensayos a tracción

Probeta	Fecha de		Edad	Perímetro	Carga	Peso	Altura	PU	Resistencia [MPa]		códificación
	Vaciado	Ensayo							[días]	[cm]	
1	04-ago-21	11-ago-21	7	32	59,6	3743	20,15	2279,6	1,8	1,9	
2	04-ago-21	11-ago-21	7	32,2	62,3	3752,8	20,1	2262,9	1,9		
3	04-ago-21	01-sep-21	28	32,1	80,8	3739,6	19,7	2315,0	2,6	2,5	
4	04-ago-21	01-sep-21	28	32	79,4	3658,4	19,7	2279,0	2,5		

Ensayos de Impacto

Probeta	Fecha de		Edad	Número de golpe	
	Vaciado	Ensayo		[días]	A la Primera Fisura
1	04-ago-21	11-ago-21	7	20	63
2	04-ago-21	11-ago-21	7	30	64
3	04-ago-21	01-sep-21	28	83	124
4	04-ago-21	01-sep-21	28	62	114

Ensayos Congelamiento y Descongelamiento

Probeta	Fecha de		Edad	Base de la viga	Carga	Peso	Altura de la viga	PU	Resistencia [MPa]		códificación
	Vaciado	Ensayo							[días]	[cm]	
1	04-ago-21	01-sep-21	28	10,05	4,25	9348	10,1	115153,0	1,2	1,3	
2	04-ago-21	01-sep-21	28	10,05	4,35	9193	10	114376,0	1,3		

Ensayo de fisuración

	0,20-0,16	0,15-0,10	0,09-0,05	< 0,05	Total
N° fisura	1	12	40	12	65
Long					76,90
Ancho promedio		0,12	0,06	0,04	0,07
Ancho máximo		0,15	0,09	0,03	
Ancho mínimo		0,10	0,05	0,03	

Planilla de fisuración

Lectura de fisuras			Lectura de fisuras			Lectura de fisuras		
N°	Largo	Ancho	N°	Largo	Ancho	N°	Largo	Ancho
1	2,00	0,06	29	0,9	0,04	57	3,2	0,10
2	1,60	0,05	30	0,7	0,05	58	1,4	0,14
3	2,30	0,06	31	1,2	0,06	59	1,1	0,06
4	0,70	0,08	32	0,4	0,12	60	2,2	0,06
5	0,90	0,03	33	0,6	0,06	61	1	0,10
6	0,70	0,05	34	1,8	0,07	62	1,9	0,03
7	1,90	0,15	35	1,5	0,06	63	0,9	0,06
8	1,10	0,05	36	1,2	0,05	64	0,8	0,07
9	1,80	0,06	37	0,4	0,04	65	0,6	0,05
10	1,10	0,04	38	1,1	0,05			
11	0,90	0,05	39	0,3	0,04			
12	0,90	0,06	40	1,7	0,10			
13	0,90	0,04	41	2,5	0,09			
14	0,8	0,08	42	0,9	0,05			
15	0,8	0,06	43	1,7	0,06			
16	0,8	0,06	44	1,9	0,09			
17	0,6	0,04	45	1,9	0,12			
18	0,4	0,05	46	0,4	0,05			
19	0,6	0,03	47	0,8	0,04			
20	1,2	0,05	48	3,2	0,08			
21	0,4	0,06	49	1,2	0,05			
22	0,6	0,06	50	0,9	0,13			
23	1	0,06	51	1,8	0,12			
24	0,4	0,05	52	1,2	0,14			
25	2,5	0,06	53	1,4	0,10			
26	1,5	0,04	54					
27	1,8	0,04	55	0,9	0,10			
28	0,4	0,05	56	0,7	0,07			

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES FAULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA CIVIL	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. HUGO MANSILLA ROMERO" ANEXO: 5
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido	Planilla : 7

Dosisificación N°: 2 Fibras: 11 [kg/m3] Espesor de fibra: 3 [mm]

CARACTERISTICAS:

MATERIAL	% humedad	% absorción	Pe	PUC	PUs
				kg/m3	kg/m3
Agua	***	***	1,000	1000,000	
Cemento	***	***	2,810	1407,000	
Grava	2,395	1,927	2,573	1569	1461
Arena	8,640	2,092	2,554	1571	1455
Aire tablas=			1,6		

INFORMACIÓN INICIAL

Resistencia característica [Mpa]	21
Resistencia media [Mpa]	26,20

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN NORMAL - ACI 211,1

Grava:	Hampaturi, chancado
Arena:	Chacoma
Cemento:	Viacha

DOSIFICACIÓN GRAVIMÉTRICA

Material	Base aprobada (firmada), kg/m3	Operativa seco	Dosificación operativa, Kg		Seco ejecutado, g	Volumenes absolutos materiales, L	Ajustada por PU, kg/m3	DRE, kg/m3	Volumen suelto seco, L	Observaciones
			Calculada	Ejecutada						
			Vr, m3 = 0,074000 Vr (producido), m3 = 0,07451000							
Agua	234,727	17,370	14,118	14,118	17,370	17,370	232,120	233,120	233,120	
Cemento	431,960	31,965	31,965	31,965	31,965	11,375	427,163	429,003	304,906	
Grava	956,065	70,749	72,443	72,443	70,749	27,497	949,521	949,521	649,909	
Arena	602,661	44,597	48,450	48,450	44,597	17,462	602,747	598,521	411,244	
TOTAL	2225,413	164,681	166,977	166,977	164,681	73,703	2211,551	2210,165	1599,180	
%G =	61,3						61,2	61,3		
%A =	38,7						38,8	38,7		Pm = 166,977
Relación a/c	0,543						0,543	0,543		Vm = 73,703

Volumen de revolutura (calculado), L =	74,000
As (buscado), cm =	4,000
as (obtenido), cm =	4,500
Agua sobrante/aumentada =	0,000
P(horm+recip), g =	18004
Peso recip, g =	2373,200

Vol recip, [cm3] =	6974,000
PU horm, kg/m3 =	2,241
Rendimiento, l =	74,510
aire, % (calculado) =	1,083
aire, % (asumido) =	1,083
Vreal (producido), m3 =	74,510

Calculando la dosif operativa (DRE) para un volumen realmente producido Vreal		
verificación de cálculo, Kg	Agua	17,370
	Cemento	31,965
	Grava	70,749
	Arena	44,597

Ensayos a compresión

Probeta	Fecha de		Edad	Perímetro	Carga	Peso	Altura	PU	Resistencia [MPa]		códificación
	Vaciado	Ensayo							[días]	[cm]	
1	10-ago-21	17-ago-21	7	32,0	144,3	3706	20,1	2263	17,7	18,5	
2	10-ago-21	17-ago-21	7	32,3	159,8	3655	19,7	2235	19,2		
3	10-ago-21	07-sep-21	28	32,0	199,0	3709	20,2	2253	24,4	25,7	
4	10-ago-21	07-sep-21	28	32,1	221,5	3749	19,8	2309	27,0		

Ensayos a flexión

Probeta	Fecha de		Edad	Base de la viga	Carga	Peso	Altura de la viga	PU	Resistencia [MPa]		códificación
	Vaciado	Ensayo							[días]	[cm]	
1	10-ago-21	17-ago-21	7	10,0	10,10	9242	10,0	116722	3,1	3,1	
2	10-ago-21	17-ago-21	7	10,0	10,80	9372	10,1	116606	3,2		
3	10-ago-21	07-sep-21	28	10,0	12,65	9316	10,1	115910	3,7	3,8	
4	10-ago-21	07-sep-21	28	10,0	12,85	9304	10,0	116920	3,9		

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES FAULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA CIVIL				INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. HUGO MANSILLA ROMERO" ANEXO: 5				
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido							Planilla :	8

Ensayos a tracción

Probeta	Fecha de		Edad	Perímetro	Carga	Peso	Altura	PU	Resistencia [MPa]		códificación
	Vaciado	Ensayo							[días]	[cm]	
1	10-ago-21	17-ago-21	7	33,4	81,9	3951,5	20	2225,6	2,5	2,3	
2	10-ago-21	17-ago-21	7	32,3	67,4	3679,7	19,9	2227,2	2,1		
3	10-ago-21	07-sep-21	28	32	84,1	3706	19,9	2285,4	2,6	2,7	
4	10-ago-21	07-sep-21	28	32	87,7	3739	20,2	2271,5	2,7		

Ensayos de Impacto

Probeta	Fecha de		Edad	Número de golpe	
	Vaciado	Ensayo		[días]	A la Primera Fisura
1	10-ago-21	17-ago-21	7	21	66
2	10-ago-21	17-ago-21	7	21	59
3	10-ago-21	07-sep-21	28	70	100
4	10-ago-21	07-sep-21	28	72	102

Ensayos de ciclos de Congelamiento y Descongelamiento

Probeta	Fecha de		Edad	Base de la viga	Carga	Peso	Altura de la viga	PU	Resistencia [MPa]		códificación
	Vaciado	Ensayo							[días]	[cm]	
1	10-ago-21	07-sep-21	28	10,1	5,1	9397	10,1	114613,3	1,5	1,49	
2	10-ago-21	07-sep-21	28	10,1	5,05	9393	10	115710,1	1,5		

Ensayo de fisuración

	0,20-0,16	0,15-0,10	0,09-0,05	< 0,05	Total
N° fisura	3	7	32	1	43
Long					41,90
Ancho promedio	0,17	0,11	0,06	0,04	0,07
Ancho máximo	0,17	0,12	0,09	0,04	
Ancho mínimo	0,16	0,10	0,05	0,03	

Planilla de fisuración

Lectura de fisuras			Lectura de fisuras		
N°	Largo	Ancho	N°	Largo	Ancho
1	2,00	0,09	23	1,10	0,04
2	1,50	0,05	24	0,80	0,07
3	1,70	0,06	25	0,70	0,05
4	2,40	0,07	26	1,20	0,05
5	0,90	0,05	27	1,00	0,05
6	0,30	0,07	28	0,4	0,00
7	0,40	0,06	29	0,60	0,05
8	1,90	0,08	30	1,20	0,06
9	1,10	0,06	31	3,20	0,10
10	1,20	0,05	32	0,60	0,05
11	1,60	0,04	33	0,40	0,28
12	1,50	0,11	34	4,20	0,06
13	0,80	0,05	35	0,70	0,04
14	1,30	0,08	36	0,60	0,10
15	0,5	0,00	37	1,6	0,03
16	2,00	0,05	38	1,5	0,17
17	0,50	0,09	39	1,2	0,04
18	1,60	0,10	40	1,3	0,06
19	1,50	0,16	41	5,2	0,12
20	1,90	0,11	42	2	0,06
21	0,90	0,03	43	0,7	0,06
22	0,90	0,07			

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES FAULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA CIVIL	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. HUGO MANSILLA ROMERO" ANEXO: 5
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido	Planilla : 9

ENSAYOS A FLEXION

Nº	DESCRIP.	FECHA VACIADO	FECHA ROTURA	PESO [g]	ALTURA [cm]	BASE. [cm]	CARGA [KN]	EDAD [dias]	RESIST. [MPa]	PROM. [MPa]	% INCREM.
0	Sin Fibras	25-may	01-jun	9393	10,10	10,00	11,2	7	3,3	3,1	-
		25-may	01-jun	9412	10,10	10,00	9,8	7	2,9		
		25-may	22-jun	9438	10,05	10,00	13,1	28	3,9	3,7	-
		25-may	22-jun	9403	10,00	10,00	11,9	28	3,6		
1	2mm-5 [kg/m3]	12-ago	19-ago	9285	10,10	10,10	10,2	7	3,0	3,2	2,9
		12-ago	19-ago	9338	10,00	10,10	11,5	7	3,4		
		12-ago	09-sep	9375	10,10	10,10	12,5	28	3,6	3,7	-1,6
		12-ago	09-sep	9249	10,00	10,00	12,4	28	3,7		
2	3mm-10 [kg/m3]	04-ago	11-ago	9173	9,95	10,00	10,1	7	3,1	3,1	1,8
		04-ago	11-ago	9292	9,95	10,00	10,7	7	3,2		
		04-ago	01-sep	9359	10,00	10,05	12,9	28	3,8	3,7	0,2
		04-ago	01-sep	9382	10,00	10,10	12,2	28	3,6		
3	3mm-20 [kg/m3]	10-ago	17-ago	9242	9,95	10,00	10,1	7	3,1	3,1	1,0
		10-ago	17-ago	9372	10,10	10,00	10,8	7	3,2		
		10-ago	07-sep	9316	10,10	10,00	12,7	28	3,7	3,8	1,7
		10-ago	07-sep	9304	10,00	10,00	12,9	28	3,9		

ENSAYOS A COMPRESION

Nº	DESCRIP.	FECHA VACIADO	FECHA ROTURA	PESO [g]	ALTURA [cm]	PERÍM. [cm]	CARGA [KN]	EDAD [dias]	RESIST. [MPa]	PROM. [MPa]	% REDUCC.
0	Sin Fibras	25-may	01-jun	3699	19,3	32,2	170,9	7	20,7	21,5	0,0
		25-may	01-jun	3731	20,0	32,1	183,3	7	22,4		
		25-may	22-jun	3941	20,0	33,0	235,2	28	27,1	28,2	0,0
		25-may	22-jun	3717	19,7	32,2	241,4	28	29,3		
1	1 mm - 10 [kg/m3]	12-ago	19-ago	3694	19,6	32,2	144,3	7	17,5	17,6	18,2
		12-ago	19-ago	3892	19,8	33,0	153,1	7	17,7		
		12-ago	09-sep	3668	19,9	32,0	182,4	28	22,4	24,0	15,0
		12-ago	09-sep	3704	20,0	32,0	208,3	28	25,6		
2	2 mm - 11 [kg/m3]	04-ago	11-ago	3940	19,9	33,2	166,8	7	19,0	19,2	11,0
		04-ago	11-ago	3672	19,7	32,1	158,2	7	19,3		
		04-ago	01-sep	3742	19,8	32,3	189,3	28	22,8	23,4	16,9
		04-ago	01-sep	3595	19,5	32,0	195,9	28	24,0		
3	3 mm - 11 [kg/m3]	10-ago	17-ago	3706	20,1	32,0	144,3	7	17,7	18,5	14,2
		10-ago	17-ago	3655	19,7	32,3	159,8	7	19,2		
		10-ago	07-sep	3709	20,2	32,0	199,0	28	24,4	25,7	8,8
		10-ago	07-sep	3749	19,8	32,1	221,5	28	27,0		

ANEXO 6: PRECIOS UNITARIOS

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES FAULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA CIVIL	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. HUGO MANSILLA ROMERO" ANEXO: 6
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido	Planilla : 1

ANALISIS DE PRECIO UNITARIO

DATOS GENERALES Actividad: HORMIGON SIMPLE H-21 Unitario: M3 Moneda: Bolivianos
--

Descripción	Und.	Cantidad	% Productiv.	Precio Improduc.	Precio Productiv.	Costo Total
1.- MATERIALES						
Cemento Viacha IP-30	Kg	431,96			1,00	431,96
Arena	m ³	0,41			120,00	49,69
Grava	m ³	0,65			120,00	78,53
Agua de red	1000 lts	0,23			6,00	1,41
TOTAL MATERIALES						561,59
2.- MANO DE OBRA						
CAPATAZ	HR.	0,10			23,00	2,30
PEON	HR.	9,00			12,50	112,50
ALBAÑIL	HR.	8,00			20,00	160,00
MANO DE OBRA INDIRECTA - %					0,00%	0,00
BENEFICIOS SOCIALES - %					57,00%	156,64
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - %					14,94%	64,46
TOTAL MANO DE OBRA						495,89
3.- EQUIPO Y MAQUINARIA						
HORMIGONERA DE 300 LITROS	HR.	0,40	100,00%	1,05	35,00	14,00
HERRAMIENTAS - %					5,00%	24,79
TOTAL EQUIPO Y MAQUINARIA						38,80
4.- GASTOS GENERALES						
GASTOS GENERALES - %					12,00%	131,55
TOTAL GASTOS GENERALES						131,55
5.- UTILIDAD						
UTILIDAD - %					10,00%	122,78
TOTAL UTILIDAD						122,78
6.- IMPUESTOS A LA TRANSACCIÓN						
IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - %					3,09%	41,73
TOTAL IMPUESTOS A LA TRANSACCIÓN						41,73
TOTAL PRECIO UNITARIO						1.392,34

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES FAULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA CIVIL	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. HUGO MANSILLA ROMERO" ANEXO: 6
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido	Planilla : 2

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

DATOS GENERALES Actividad: HORMIGON CON FIBRAS PET ancho = 1 mm Unitario: M3 Moneda: Bolivianos
--

Descripción	Und.	Cantidad	% Productiv.	Precio mproductiv	Precio Productiv.	Costo Total
1.- MATERIALES						
Cemento Viacha IP-30	Kg	431,96			1,00	431,96
Arena	m ³	0,41			120,00	49,69
Grava	m ³	0,65			120,00	78,53
Agua de red	1000 lts	0,23			6,00	1,41
Fibras PET: ancho = 1 mm	Kg	10,00			50,00	500,00
TOTAL MATERIALES						1.061,59
2.- MANO DE OBRA						
CAPATAZ	HR.	0,10			23,00	2,30
PEON	HR.	9,00			12,50	112,50
ALBAÑIL	HR.	8,00			20,00	160,00
MANO DE OBRA INDIRECTA - %					0,00%	0,00
BENEFICIOS SOCIALES - %					57,00%	156,64
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - %					14,94%	64,46
TOTAL MANO DE OBRA						495,89
3.- EQUIPO Y MAQUINARIA						
HORMIGONERA DE 300 LITROS	HR.	0,40	100,00%	1,05	35,00	14,00
HERRAMIENTAS - %					5,00%	24,79
TOTAL EQUIPO Y MAQUINARIA						38,80
4.- GASTOS GENERALES						
GASTOS GENERALES - %					12,00%	191,55
TOTAL GASTOS GENERALES						191,55
5.- UTILIDAD						
UTILIDAD - %					10,00%	178,78
TOTAL UTILIDAD						178,78
6.- IMPUESTOS A LA TRANSACCIÓN						
IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - %					3,09%	60,77
TOTAL IMPUESTOS A LA TRANSACCIÓN						60,77
TOTAL PRECIO UNITARIO						2.027,38

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES FAULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA CIVIL	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. HUGO MANSILLA ROMERO" ANEXO: 6
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido	Planilla : 3

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

DATOS GENERALES Actividad: HORMIGON CON FIBRAS PET ancho = 2 mm Unitario: M3 Moneda: Bolivianos

Descripción	Und.	Cantidad	% Productiv.	Precio mproductiv	Precio Productiv.	Costo Total
1.- MATERIALES						
Cemento Viacha IP-30	Kg	431,96			1,00	431,96
Arena	m ³	0,41			120,00	49,69
Grava	m ³	0,65			120,00	78,53
Agua de red	1000 lts	0,23			6,00	1,41
Fibras PET: ancho = 2 mm	Kg	11,00			37,50	412,50
TOTAL MATERIALES						974,09
2.- MANO DE OBRA						
CAPATAZ	HR.	0,10			23,00	2,30
PEON	HR.	9,00			12,50	112,50
ALBAÑIL	HR.	8,00			20,00	160,00
MANO DE OBRA INDIRECTA - %					0,00%	0,00
BENEFICIOS SOCIALES - %					57,00%	156,64
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - %					14,94%	64,46
TOTAL MANO DE OBRA						495,89
3.- EQUIPO Y MAQUINARIA						
HORMIGONERA DE 300 LITROS	HR.	0,40	100,00%	1,05	35,00	14,00
HERRAMIENTAS - %					5,00%	24,79
TOTAL EQUIPO Y MAQUINARIA						38,80
4.- GASTOS GENERALES						
GASTOS GENERALES - %					12,00%	181,05
TOTAL GASTOS GENERALES						181,05
5.- UTILIDAD						
UTILIDAD - %					10,00%	168,98
TOTAL UTILIDAD						168,98
6.- IMPUESTOS A LA TRANSACCIÓN						
IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - %					3,09%	57,44
TOTAL IMPUESTOS A LA TRANSACCIÓN						57,44
TOTAL PRECIO UNITARIO						1.916,25

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES FAULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA CIVIL	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. HUGO MANSILLA ROMERO" ANEXO: 6
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido	Planilla : 4

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

DATOS GENERALES Actividad: HORMIGON CON FIBRAS PET ancho = 3 mm Unitario: M3 Moneda: Bolivianos
--

Descripción	Und.	Cantidad	% Productiv.	Precio mproductiv	Precio Productiv.	Costo Total
1.- MATERIALES						
Cemento Viacha IP-30	Kg	431,96			1,00	431,96
Arena	m ³	0,41			120,00	49,69
Grava	m ³	0,65			120,00	78,53
Agua de red	1000 lts	0,23			6,00	1,41
Fibras PET: ancho = 3 mm	Kg	11,00			25,00	275,00
TOTAL MATERIALES						836,59
2.- MANO DE OBRA						
CAPATAZ	HR.	0,10			23,00	2,30
PEON	HR.	9,00			12,50	112,50
ALBAÑIL	HR.	8,00			20,00	160,00
MANO DE OBRA INDIRECTA - %					0,00%	0,00
BENEFICIOS SOCIALES - %					57,00%	156,64
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - %					14,94%	64,46
TOTAL MANO DE OBRA						495,89
3.- EQUIPO Y MAQUINARIA						
HORMIGONERA DE 300 LITROS	HR.	0,40	100,00%	1,05	35,00	14,00
HERRAMIENTAS - %					5,00%	24,79
TOTAL EQUIPO Y MAQUINARIA						38,80
4.- GASTOS GENERALES						
GASTOS GENERALES - %					12,00%	164,55
TOTAL GASTOS GENERALES						164,55
5.- UTILIDAD						
UTILIDAD - %					10,00%	153,58
TOTAL UTILIDAD						153,58
6.- IMPUESTOS A LA TRANSACCIÓN						
IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - %					3,09%	52,20
TOTAL IMPUESTOS A LA TRANSACCIÓN						52,20
TOTAL PRECIO UNITARIO						1.741,61

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES FAULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA CIVIL	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. HUGO MANSILLA ROMERO" ANEXO: 6
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido	Planilla : 5

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

DATOS GENERALES Actividad: HORMIGON CON FIBRAS SIKAFIBER ENDURO 600 Unitario: M3 Moneda: Bolivianos
--

Descripción	Und.	Cantidad	% Productiv.	Precio mproductiv	Precio Productiv.	Costo Total
1.- MATERIALES						
Cemento Viacha IP-30	Kg	431,96			1,00	431,96
Arena	m ³	0,41			120,00	49,69
Grava	m ³	0,65			120,00	78,53
Agua de red	1000 lts	0,23			6,00	1,41
Fibras SIKAFIBER ENDURO 600	Kg	5,00			69,13	345,63
TOTAL MATERIALES						907,21
2.- MANO DE OBRA						
CAPATAZ	HR.	0,10			23,00	2,30
PEON	HR.	9,00			12,50	112,50
ALBAÑIL	HR.	8,00			20,00	160,00
MANO DE OBRA INDIRECTA - %					0,00%	0,00
BENEFICIOS SOCIALES - %					57,00%	156,64
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - %					14,94%	64,46
TOTAL MANO DE OBRA						495,89
3.- EQUIPO Y MAQUINARIA						
HORMIGONERA DE 300 LITROS	HR.	0,40	100,00%	1,05	35,00	14,00
HERRAMIENTAS - %					5,00%	24,79
TOTAL EQUIPO Y MAQUINARIA						38,80
4.- GASTOS GENERALES						
GASTOS GENERALES - %					12,00%	173,03
TOTAL GASTOS GENERALES						173,03
5.- UTILIDAD						
UTILIDAD - %					10,00%	161,49
TOTAL UTILIDAD						161,49
6.- IMPUESTOS A LA TRANSACCIÓN						
IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - %					3,09%	54,89
TOTAL IMPUESTOS A LA TRANSACCIÓN						54,89
TOTAL PRECIO UNITARIO						1.831,31

NOTA: La dosificación de fibras SIKAFIBER ENDURO 600 debe verificarse con ensayos de laboratorio, el valor adoptado en este PU fue extraído del ciclo de conferencias del hormigón elaborado, "tecnología del hormigón reforzado con fibras" (2020)

ANEXO 7: MANUAL DE ELABORACIÓN DE FIBRAS PET

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS FACULTAD DE INGENIERÍA INGENIERÍA CIVIL	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. HUGO MANSILLA ROMERO" ANEXO: 7	
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido	Planilla:	1

Manual de elaboración de fibras PET

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS FACULTAD DE INGENIERÍA INGENIERÍA CIVIL	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. HUGO MANSILLA ROMERO" ANEXO: 7		
PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="1092 226 1330 329">Planilla:</td> <td data-bbox="1330 226 1446 329">2</td> </tr> </table>	Planilla:	2
Planilla:	2		

Presentación

El plástico más reciclado en el mundo son las botellas PET. Una industria bien establecida, desde el recojo hasta la separación hasta los procedimientos adicionales y su uso final. El PET tiene la ventaja de poder ser reciclado múltiples veces pero para uso alimenticio solo se permite en el primer nivel de reciclaje, pasado este nivel se utiliza para una amplia variedad de productos finales como: fibra, fibra de relleno textil, correas, y botellas y envases para usos no alimentarios como detergentes y productos fitosanitarios.

A través de este manual presentamos una alternativa mas para dar un uso a los envases PET mediante la elaboración de hilos que al recortarlos obtenemos fibras PET. Estas fibras tienen una función de mejorar ciertas propiedades mecánicas al introducirlas en el hormigón

Inicialmente realizamos una descripción de las medidas, tipo y cantidad de los materiales necesarios para fabricar la herramienta de corte. Posteriormente detallamos el procedimiento de fabricación o ensamblado de dicha herramienta acompañada de esquemas e imágenes. Luego describimos la manera de preparar las botellas para finalmente dar una guía de como utilizar la herramienta de corte. El resultado son hilos PET que recortados cada cierta longitud dan lugar a las fibras PET. Las fibras pueden ser reguladas en su ancho como se indica en el manual y pueden darse otro tipo de usos como la utilización de hilos propiamente dichos, elaboración de escobas, escobillas como es aplicado otros países, igualmente con anchos mas altos es posible elaborar bolsas y tejidos.

PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla:

3

1. OBJETIVO

Elaborar fibras a partir de botellas PET para el refuerzo de hormigones por medio de una herramienta prototipo.

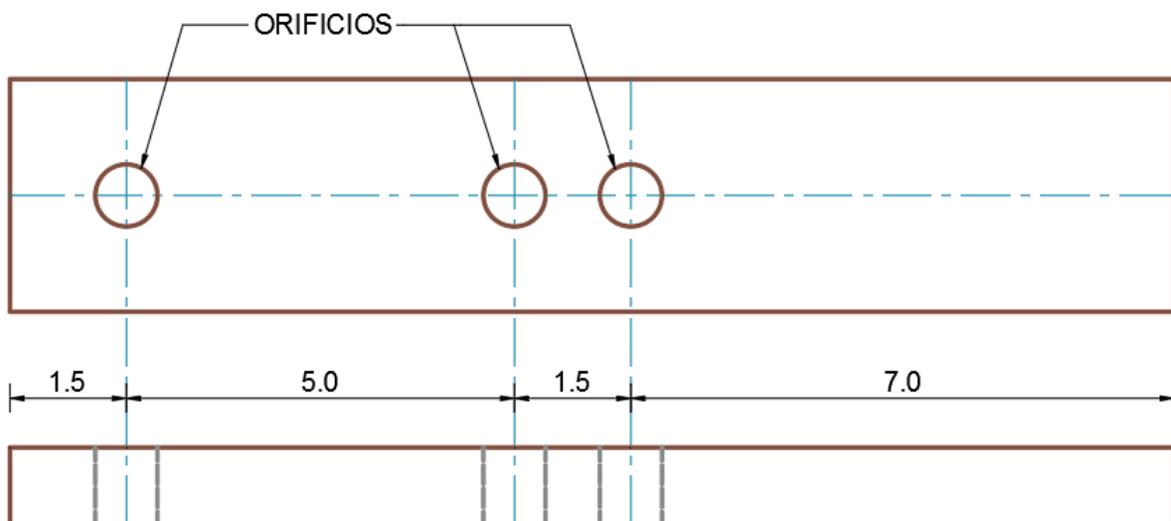
2. MATERIALES

- Botellas PET de 2, 2.5 o 3 litros
- Tijeras o cúter
- Madera de 3x15x1 cm
- 2 tornillos $\varnothing 1/4$ pulgada y longitud de $1\frac{1}{2}$ pulgada
- 1 tornillo $\varnothing 1/4$ pulgada y longitud de 1 pulgada
- 4 tuercas para $\varnothing 1/4$ pulgada
- Dos arandelas o volandas para tornillos de $\varnothing 1/4$ pulgada
- 1 tajador o sacapuntas escolar
- Tubo pvc de $5/8$ "

3. PROCEDIMIENTO

Fabricación de la herramienta de corte

Tomamos el soporte de madera y mediante una broca Nro 8 practicamos tres orificios de manera que los tornillos puedan introducirse con libertad.



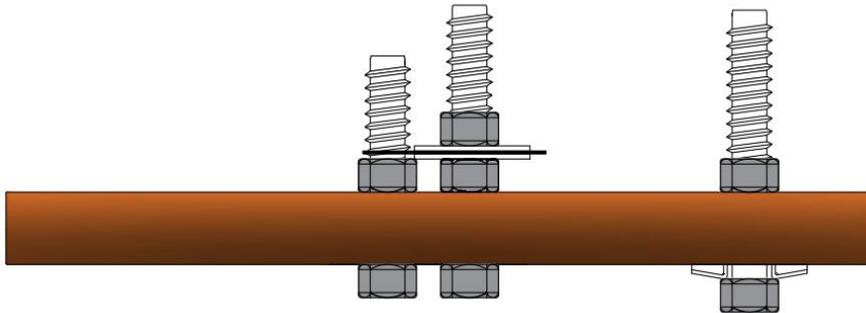
Dimensiones del soporte de la herramienta de corte.

Introducimos los tornillos en los orificios asegurándolos con las tuercas como se muestra a continuación

PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

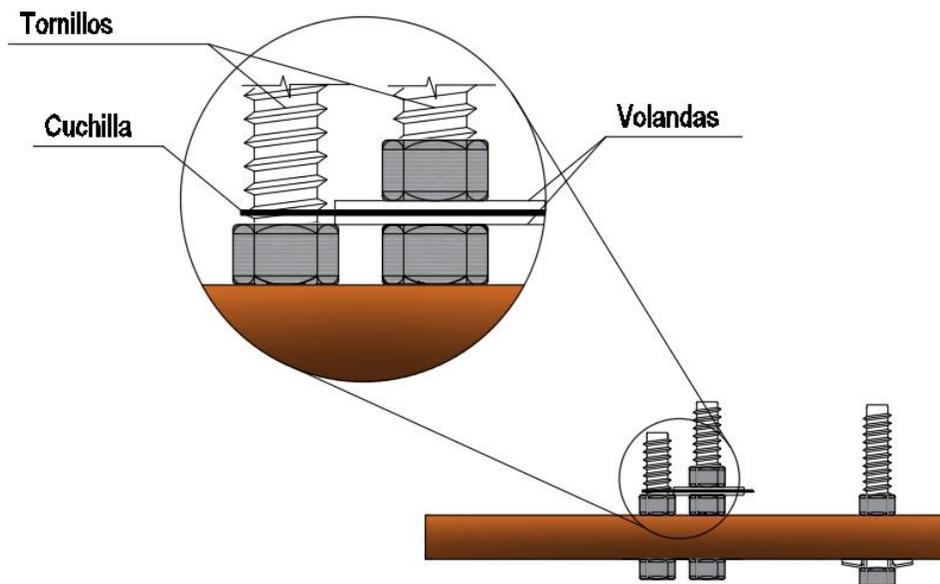
Planilla:

4



Disposición de los pernos en la base de madera.

En el tornillo central introducir las volandas y asegurarlas con una tuerca de modo que la cuchilla quede sujeta entre las volandas.



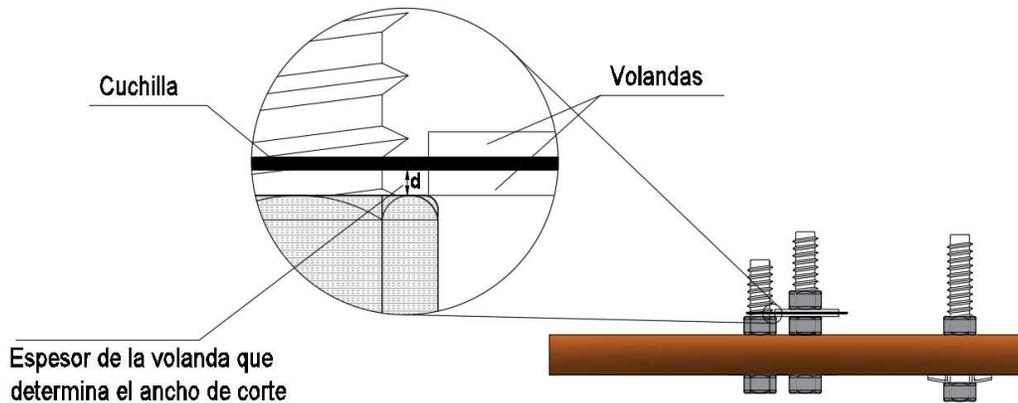
Posición de la cuchilla entre las volandas.

La altura o espesor de la volanda determinara cuan ancho es el espesor de corte en el momento del fileteado, de este modo podemos regular si se desea anchos mayores o menores.

PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

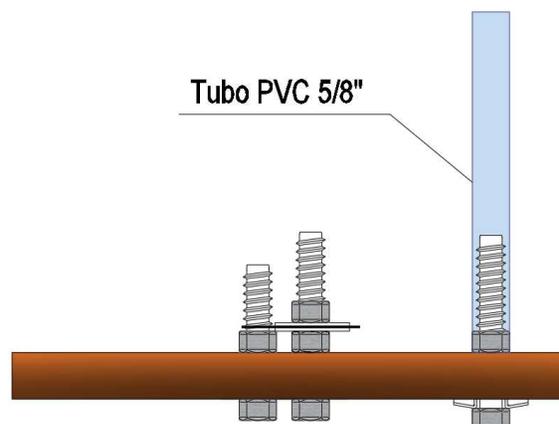
Planilla:

5



Detalle del espesor de corte de la herramienta.

El tubo PVC de 5/8" se introduce en el tornillo externo:

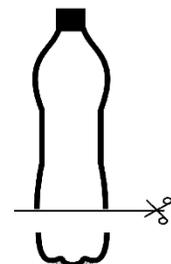


Posición del tubo PVC que sostiene las botellas.

Preparado de botellas

Las botellas PET deben ser de 2l, 2.5l o 3l. Para que el corte o fileteado sea uniforme y no se presente dificultades, las botellas deben estar en buenas condiciones, no haber sido aplastadas ni dobladas.

Inicialmente realizamos un corte horizontal en la base de la botella con la ayuda de un cúter o estilete o unas tijeras. El corte debe ser lo más limpio posible.



PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla:

6



Corte horizontal en la base de la botella.

Posteriormente quitamos las etiquetas de la botella.



Retirado de etiquetas.

Una vez que tenemos las botellas recortadas y sin etiquetas, procedemos a lavar los residuos que pueda contener en el interior de la botella, así como la suciedad de la superficie.

PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla:

7



Lavado de botellas.

Finalmente escurrimos y secamos las botellas.

FILETEADO DE BOTELLAS

Instalamos la herramienta de corte sobre una superficie firme con la ayuda de una prensa.



Instalación de la herramienta de corte

Introducimos la botella en el tubo PVC

PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla:

8



Disposición de la botella.

Tomamos la botella por el borde y giramos con una ligera presión hacia abajo hasta obtener una guía de la cual comenzamos a jalar.



Fileteado de botellas

Teniendo un hilo de botellas pet, lo enrollamos enrollamos en manojos para finalmente con la ayuda de unas tijeras los cortarlos de acuerdo a la longitud requerida.

PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

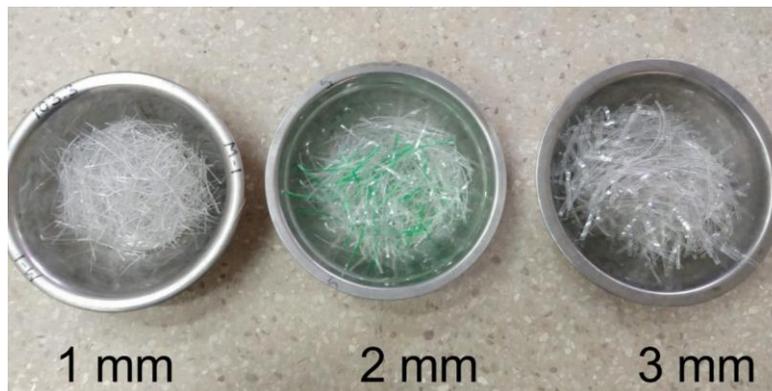
Planilla:

9



Corte de los hilos PET

Siguiendo el mismo procedimiento podemos obtener fibras de distintos anchos y longitudes. Para nuestro caso trabajamos con una longitud de 5 cm y anchos de 1mm, 2 mm y 3 mm.



Fibras PET de 1mm, 2mm y 3mm

Una de las principales dificultades en este proceso se presenta al momento del fileteado de hilos de 1mm de ancho, que en botellas dobladas o con muchas deformaciones por diseños de las marcas de refrescos, imposibilitaban el corte continuo y provocaban una rotura en las tiras PET. Por este motivo se recomienda que se trabaje con anchos de al menos 2mm para evitar este problema.

PROYECTO: Estudio comparativo entre un Hormigón tradicional y otro reforzado con macrofibras obtenidas de botellas PET con aplicación en pavimento rígido

Planilla:

10



Fibras PET