



UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Propuesta para usar fibras sintéticas de polipropileno reciclado en el control de fisuras generadas por la retracción en pavimentos de concreto en Lima.

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR(ES)

Chirinos Revilla, Kelvin Jesús (0000-0002-7473-0810)

Cuervo Pavas, Carlos Enrique (0000-0002-3659-8097)

ASESOR

Llerena Cano, Donald Gustavo (0000-0002-8260-4099)

Lima, 20 de Enero de 2021

DEDICATORIA

Dedico mi tesis en especial a mis padres Jesús y Angélica, por todo el apoyo incondicional, y siempre tengo presente el lema de ustedes; Nosotros podemos, Tú puedes, en todo este proceso de mi formación profesional.

Dedico mi tesis en especial a mis padres Pablo y Rosa, por el esfuerzo para iniciar mi formación académica, a mi esposa Sandra y a mis hijos Carolina y Sebastián, doña Olga por todo el apoyo y acompañamiento incondicional durante toda mi formación Universitaria.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad de Ciencias Aplicadas UPC, por el apoyo y acompañamiento en el desarrollo de esta investigación, a nuestro asesor Ing. Gustavo Llerena, quien nos guió en este proceso de darle forma nuestra tesis, al Coordinador Ing. Civil - EPE Ing. Víctor Torres, por la apertura y disposición para facilitarlos el acceso al laboratorio para desarrollar el proceso experimental y a los Técnicos de Laboratorio Jennyfer Gamarra y Guillermo Cansinos por el acompañamiento y apoyo incondicional; adicionalmente, a los asesores técnicos de los proveedores de fibras FCM (Monofilamento Sintético Estructural).

RESUMEN

La retracción es un fenómeno que afecta el proceso de fraguado y la vida útil del concreto con la aparición de fisuras; en los últimos años se han generado estudios y métodos para mitigarlo y controlarlo con el uso de diferentes productos y métodos. El desarrollo de infraestructuras viales con el uso de concreto como carpeta de rodadura, requiere de métodos para garantizar la durabilidad y disminuir las afectaciones por los esfuerzos incorporados por el uso, condiciones climáticas, base de soporte y restricciones de movimiento de la estructura. A pesar del conocimiento de este fenómeno, existe poco desarrollo técnico para medirla, estudiarla y controlarla. Por lo descrito anteriormente, surge la necesidad de investigar, ampliar el conocimiento y buscar métodos experimentales para medir y comprender el comportamiento de la contracción en el concreto usado en pavimentos. El proyecto de investigación académica busca evaluar los efectos de las fibras sintéticas recicladas de polipropileno en los ensayos de contracción- retracción plástica (ASTM C 1579), y se plantea la preparación de 3 diseños de mezclas con diferentes relaciones de fibras sintéticas recicladas y vírgenes. Existen otros métodos de evaluación (contracción libre y contracción restringida) para precisar los efectos de las fibras sintéticas en la aparición de fisuras en estado plástico y endurecido, quedarán propuestos para realizar las demostraciones en futuras investigaciones.

Palabras clave: Retracción; Fibra sintética de polipropileno reciclado; Fibra sintética de polipropileno virgen, pavimentos

ABSTRACT

Use of synthetic fibers of recycled polypropylene to control the fissures generated by retraction in concrete pavements in Lima. The retraction is a phenomenon that affects the setting process and the life of the concrete with the appearance of cracks; In recent years, studies and methods have been generated to mitigate and control it with the use of different products and methods. The development of road infrastructures with the use of concrete as a rolling folder requires methods to guarantee durability and reduce the effects of the efforts incorporated by the use, climatic conditions, support base and movement restrictions of the structure. Despite the knowledge of this phenomenon, there is little technical development to measure, study and control it. As described above, the need arises to investigate, expand knowledge and seek experimental methods to measure and understand the behavior of contraction in the concrete used in pavements. The academic research project seeks to evaluate the effects of recycled synthetic fibers of polypropylene in the contraction-plastic shrinkage tests (ASTM C 1579), and the preparation of 3 designs of mixtures with different ratios of recycled and virgin synthetic fibers is proposed. There are other methods of evaluation (free contraction and restricted contraction) to specify the effects of synthetic fibers in the appearance of cracks in plastic and hardened state, will be proposed to perform the demonstrations in future research.

Keywords: Retraction; synthetic fibers of polypropylene recycled; virgin synthetic fibers; pavements

CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	I
ÍNDICE DE FIGURAS	III
INTRODUCCIÓN	1
DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
CARACTERÍSTICAS DE LA PROBLEMÁTICA.....	3
JUSTIFICACIÓN.....	4
ESTADO DEL ARTE	4
HIPÓTESIS Y OJETIVOS	6
HIPÓTESIS	6
OBJETIVOS	6
OBJETIVO GENERAL.....	6
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO.	7
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO	8
1.1 DEFINICIONES.....	8
1.1.1 Reciclaje de Plástico.....	8
1.1.2 Fibras	9
1.1.3 Definición de fibras sintéticas de polipropileno.....	9
1.1.4 PAVIMENTO DE CONCRETO	9
1.1.5. RETRACCIÓN DEL CONCRETO.....	9
1.1.6 DIFERENCIA ENTRE FISURA Y GRIETA	10
1.1.6.1 Fisuras.....	10
1.1.6.2 Grieta	10
1.1.7. FISURAS.....	10
1.1.7.1 Fisuras en estado plástico	10
1.1.7.3. Fisuras en estado endurecido.....	11
1.1.7.4. Fisuras según su tamaño	11

1.1.7.5.	Fisuras según su comportamiento	11
1.1.8.	GRANULOMETRÍA	12
1.1.9.	AGREGADOS	12
1.1.10.	ESPÉCIMEN	12
1.1.11.	VISCOSIDAD.....	12
1.2.	COMPONENTES DEL CONCRETO CON FIBRAS SINTÉTICAS DE POLIPROPILENO RECICLADO.....	12
1.2.1	CEMENTO PORTLAND	12
1.2.2	FIBRA SINTÉTICA DE POLIPROPILENO	13
1.2.3	AGREGADO FINO	13
1.2.4	AGREGADO GRUESO	13
1.2.5	AGUA.....	13
1.3.	PROPIEDADES DEL CONCRETO CON FIBRAS SINTÉTICAS DE POLIPROPILENO RECICLADO.....	13
1.3.1	EN ESTADO FRESCO.....	13
1.4	FASES DE LA PRODUCCIÓN DEL CONCRETO CON FIBRA SINTÉTICA DE POLIPROPILENO RECICLADO	14
1.4.1	DOSIFICACIÓN	14
1.4.2	MEZCLADO	14
1.4.3	TRANSPORTE Y COLOCACIÓN	14
1.4.5	COMPACTACIÓN	14
1.4.6	CURADO	14
1.5	TIPO DE ENSAYO APLICADO AL CONCRETO CON FIBRA SINTÉTICA DE POLIPROPILENO RECICLADO	14
1.5.1	RETRACCIÓN PLÁSTICA	15
CAPÍTULO2: METODOLOGÍA		15
2.1.	CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES	15
2.1.1	CEMENTO.....	15
2.1.2	AGREGADOS	16
2.1.3	AGREGADO FINO.....	16
2.1.4	AGREGADO GRUESO.....	16
2.1.4.	FIBRA SINTÉTICA	16

2.1.5.	AGUA.....	16
2.1.6.	ADITIVOS.....	16
2.2.	DISEÑO.....	16
2.2.1.	DISEÑO PATRÓN.....	16
2.2.2.	DISEÑO CON FIBRAS SINTÉTICAS DE POLIPROPILENO VÍRGENES	17
2.2.3.	DISEÑO CON FIBRAS SINTÉTICAS DE POLIPROPILENO RECICLADAS.	17
2.3.	ENSAYO	17
2.3.1.	ENSAYO POR RETRACCIÓN PLÁSTICA	17
2.4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	17
CAPÍTULO 3: FASES DE LA INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL.....		18
3.1	DISEÑO DE MEZCLA	18
3.1.1	DISEÑO PATRÓN.....	18
3.2.	DISEÑO CON FIBRAS SINTÉTICAS DE POLIPROPILENO VIRGENES....	26
3.3.	DISEÑO CON FIBRAS SINTÉTICAS DE POLIPROPILENO RECICLADAS.	28
3.2 EJECUCIÓN DE ENSAYO POR RETRACCIÓN PLÁSTICA		30
3.2.1 ELABORACIÓN DEL CONCRETO PATRÓN.....		30
3.2.2 ENSAYO CON FIBRA VIRGEN		33
3.2.2.1 ENSAYO CON FIBRA VIRGEN 116 GR		33
3.2.2.2 ENSAYO CON FIBRA VIRGEN 176 GR		34
3.2.3 ENSAYO CON FIBRA RECICLADA		37
3.2.3.1 ENSAYO CON FIBRA RECICLADA 58 GR.....		37
3.2.3.2 ENSAYO CON FIBRA RECICLADA 116 GR.....		39
3.2.3.3 ENSAYO CON FIBRA RECICLADA 176 GR.....		41
3.3 COMPARACION DE LOS CONCRETOS CON FIBRAS SINTETICAS VÍRGENES Y RECICLADAS DE POLIPROPILENO		43
CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES.....		48
4.1	CONCLUSIONES	48
BIBLIOGRAFÍA		49

ANEXOS;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación fisuras	11
Tabla 2 Fisuras según su comportamiento	12
Tabla 3 Requisitos para condiciones especiales de exposición.....	18
Tabla 4 Resumen diseño patrón método ACI 211.....	19
Tabla 5 Volumen unitario de agua según tabla 9 Comité ACI 211.....	20
Tabla 6 Relación agua / cemento por resistencia según Tabla 5 comité ACI 211	21
Tabla 7 Módulo de fineza de la combinación de agregados.....	22
Tabla 8 Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto, Tabla 4 comité ACI 211	23
Tabla 9 Resumen diseño patrón método combinación de agregados	24
Tabla 10 Diseño de mezclas patrón por combinación de agregados	25
Tabla 11 Resumen de volumen de concreto patrón por combinación de agregados.....	26
Tabla 12 Diseño de mezclas con fibras vírgenes (116 gr.) por combinación de agregados	26
Tabla 13 Diseño de mezclas con fibras vírgenes (176 gr.) por combinación de agregados	27
Tabla 14 Resumen de volúmenes de concreto con fibras vírgenes por combinación de agregados	27
Tabla 15 Diseño de mezclas con fibras recicladas (58 gr.) / Combinación de agregados ..	28
Tabla 16 Diseño con 116 gr. de Fibras Recicladas /Combinación de agregados.....	28
Tabla 17 Diseño con 176 gr. de Fibras Recicladas /Combinación de agregados.....	29
Tabla 18 Resumen volumen concreto /Fibras Recicladas /Combinación de agregados	29
Tabla 19 Comparación de espesor (mm) de fisuras según la cantidad de fibra	43
Tabla 20 Comparación a la resistencia a la compresión.....	44
Tabla 21 Comparación a la resistencia a la flexión	45
Tabla 22 Costo concreto con 116 gr. de fibra reciclada	45
Tabla 23 Costo concreto con 116 gr. de fibras vírgenes	46
Tabla 24 Costo concreto con 176 gr. de fibras recicladas	46
Tabla 25 Costo concreto con 176 gr. de Fibras vírgenes.....	46
Tabla 26 Costo concreto patrón.....	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Fisura en concreto	1
Figura 2 Fisura de retracción plástica.....	2
Figura 3 Gráfico deformación del concreto/ tiempo	10
Figura 4 Diferencia entre Fisura y Grieta Fuente	10
Figura 5 Molde para retracción plástica	15
Figura 6 Molde Metálico según norma ASTM C 1579.....	25
Figura 7 Slump de 3 1/2” Diseño Patrón.....	31
Figura 8 Concreto en Molde metálico	32
Figura 9 Fisura en concreto patrón de 0.50 mm	32
Figura 10 Slump de 3 1/2” con Fibras Virgen 116 gr	33
Figura 11 Concreto vaciado en Molde metálico con 116 gr de fibra vírgen	34
Figura 12 Fisura de 0.25 mm en concreto con 116 gr. de fibra vírgen	34
Figura 13 Slump de 3” con Fibras Virgen 176 gr.....	35
Figura 14 Concreto vaciado en Molde metálico con 175 gr de fibra virgen	36
Figura 15 Fisura de 0.10 mm en concreto con 176 gr de fibra virgen	36
Figura 16 Slump de 3” con 58 gr Fibras Reciclada.....	37
Figura 17 Concreto vaciado con fibra 58 gr de fibra reciclada en Molde metálico	38
Figura 18 Fisura de 0.40 mm en concreto con 58 gr. de fibra reciclada	38
Figura 19 Slump de 3 1/2” con Fibras Reciclada 116 gr.....	39
Figura 20 Vaciado concreto con 116 gr.de fibras reciclada	40
Figura 21 Fisuras de 0.35 mm en concreto con 116 gr. de fibra reciclada.....	40
Figura 22 Slump de 3” ½” con 176 gr Fibras Recicladas.....	41
Figura 23 Vaciado concreto con 176 gr de fibras recicladas.....	42
Figura 24 Fisuras de 0.15 mm en concreto con 176 gr. de fibra reciclada.....	42

]

INTRODUCCIÓN

En los años 1865 se construyó el primer pavimento de concreto en Inverness, Escocia, a orillas del Lago Ness y algunos años después en 1920 en El Salvador, 1922 en la Av. Venezuela en Lima - Perú, y así sucesivamente hasta nuestros días. Una obra muy importante que podemos recorrerla hasta el día de hoy es la Vía Expresa de Lima. Obras que han perdurado por los años y han demostrado la alta durabilidad del concreto como alternativa para pavimento (Anónimo. (2016) Pavimentos de concreto: estado del arte de los pavimentos en el Perú <http://www.asocem.org.pe>).

Sin embargo, existen varios cambios físicos en el concreto que no han sido evaluados y que representan afectaciones a su durabilidad (ver *Figura 1*), además, de los atribuibles a cambios climáticos, procesos constructivos, calidad del terreno, cambios de uso por el tipo de tráfico, etc.

“En inicios de 1920 se inició la aplicación de juntas longitudinales y transversales para evitar la aparición de fisuras aleatorias” (Jaramillo, 2012, p. 12).

Figura 1 Fisura en concreto

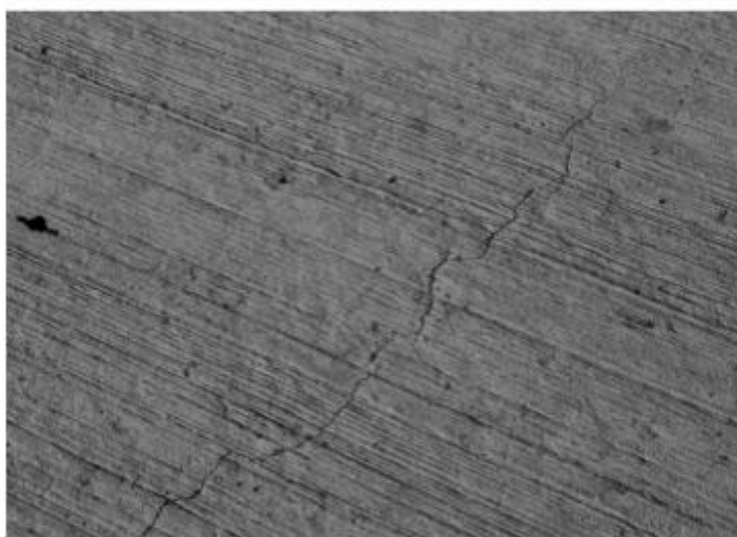


Fuente: Evaluación y patología de pavimentos de concreto

Las fisuras en el pavimento rígido, afectan cada vez a las estructuras instaladas en las vías de Lima, generando deterioro en la carpeta de rodadura, fracturas por infiltraciones de agua, mal diseño en la colocación de las juntas de contracción de las losas y colocación de refuerzos.

El Portland Cement Association (PCA, 1995); en la etapa plástica el concreto presenta cambios importantes por las pérdidas de agua por evaporación de (1 litro/m²/hora máxima), Las fisuras por retracción plástica típica en el concreto, ver *Figura 2*.

Figura 2 Fisura de retracción plástica



Fuente: captura de pantalla (Ruiz Sibaja A., López Ríos J., Martínez Jiménez J.)

Las diferentes causas de la aparición de fisuras en el concreto son evaluadas, la más importante y poco tratada es la retracción plástica y se presentan en diferentes etapas; asentamiento plástico, retracción plástica primaria, retracción autógena y retracción plástica secundaria (Halvorsen, G (1993) Causa, evaluación y reparación de fisuras en estructuras de hormigón *ACI 224.1R-93*).

Existen otras causas de la aparición de fisuras en el concreto como la precipitación de los agregados, restricción por secado, tensiones de origen térmico, reacciones químicas, meteorización, corrosión de las armaduras, prácticas constructivas inadecuadas, sobrecarga durante la construcción, errores de diseño y encofrados, cargas aplicadas externas (Dakhil et al., 1975).

Para validar las características de las fisuras se aplicará el ensayo de retracción plástica, en la presente investigación.

DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Nuestra investigación se ejecutó en la ciudad de Lima, usando el cemento Sol Tipo I, la fibra sintética de polipropileno reciclado y vírgenes fue suministrado por el proveedor Fibras Cortadas y Monofilamentos S.A.C., los agregados como piedra chancada y arena fueron abastecidos por la UPC. Las pruebas se ejecutaron en el laboratorio de ensayos de materiales de la Universidad Peruana Ciencias Aplicadas. El proceso de la investigación experimental se desarrolló durante el periodo comprendido entre los meses de Mayo a Julio de 2019.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Qué efectos tiene la utilización de las fibras sintéticas de polipropileno recicladas en los pavimentos de concreto en lima?

CARACTERÍSTICAS DE LA PROBLEMÁTICA

¿Por qué aparecen las fisuras en proceso de fraguado y consolidación del concreto?

¿Puede medirse las fisuras generadas en el concreto?

¿Qué instrumento se usa para medir las fisuras?

¿Qué método se usa para evidenciar las fisuras?

¿Qué volumen de fibras sintéticas recicladas es el ideal para disminuir las fisuras?

¿Qué afectaciones genera las fisuras en el concreto endurecido?

La aparición de fisuras en el concreto puede controlarse con la adición de fibras sintéticas recicladas, en proporciones que permitan la maleabilidad, colocación, vibrado y no afecte sus principales características, además, pueden cuantificarse y medirse con métodos visuales e instrumentos manuales.

La ciudad de Lima está en un constante crecimiento, y el aumento de la demanda de infraestructura vial debe garantizar la durabilidad de las estructuras de concreto en edad temprana y endurecido, con beneficios económicas, sociales y ambientales.

La problemática tratada en este estudio nos permite encontrar alternativas de solución, a las afectaciones encontradas en las estructuras de pavimento en concreto formadas por las fisuras, usando fibras plásticas recicladas de polipropileno.

JUSTIFICACIÓN

La creciente demanda de infraestructuras viales y el deficiente mantenimiento presentan retos para la ingeniería, en buscar alternativas para garantizar la durabilidad de los pavimentos de concreto; unos de los principales problemas son las fisuras, el no tratamiento y prevención generan el incremento de tamaño, afectando drásticamente la transitabilidad. La importancia de esta investigación es dar a conocer el uso de fibras sintéticas de polipropileno recicladas, como una alternativa para la disminución y control de fisuras por la retracción del concreto en su etapa plástica. Además, del aporte medioambiental en la reducción de materiales contaminantes de lenta degradación.

ESTADO DEL ARTE

Uno de los principales problemas de la población mundial en constante crecimiento, es que año tras año se generan mayores cantidades de residuos debido al aumento de las tasas de consumo (Hoorweg et al., 2013). Estas tasas afectan directamente el agotamiento de las materias primas y la contaminación ambiental debido a la falta de flujos correctos de recirculación (Koppelaar y Wiekard, 2013). Asimismo, la gestión de residuos en las ciudades ha demostrado ser una tarea compleja para los responsables de las políticas que buscan reducciones de costos al tomar decisiones. Sin embargo, en muchas ocasiones se puede lograr una ganancia ambiental sustancial a través de la optimización de la gestión de residuos. El objetivo principal fue combinar técnica de investigación operativa con evaluación del ciclo de vida, para ubicar los sitios de recolección de residuos generales y reciclables y se cree un sistema efectivo de recolección de rutas para camiones compactadores y se logre una reducción del impacto ambiental. El uso de la investigación operativa en este estudio de caso particular permitió minimizar el número de sitios de recolección, instalando y utilizando la capacidad disponible de contenedores, al tiempo que se satisfacía la distancia máxima de paso para los ciudadanos en el distrito de Comas sin mezclar residuos reciclables y generales. Además, se logró la minimización de la distancia recorrida por los camiones compactadores. Esto permitió que la cantidad de camiones compactadores se redujera en más de la mitad (Gilardino, Rojas, Mattos, Larrea y Vásquez, 2017).

Las últimas décadas han visto enorme producción y el consumo de plásticos, debido al bajo costo y su idoneidad para una amplia variedad de aplicaciones. Ellos han sido

ampliamente utilizados para reemplazar los materiales tradicionales, tales como la madera (Qiang et al., 2014) y metal (Liu et al., 2015). El Polipropileno (PP) es uno de los plásticos más utilizados (Campion et al., 2015). El objetivo de esta investigación es cuantificar el ciclo de vida ambiental de los beneficios producidos por el uso de fibras de PP recicladas de desechos domésticos e industriales. Los resultados de *LCA* muestran que la fibra de PP reciclada industrial ofrece beneficios ambientales sustanciales sobre todas las otras opciones de refuerzo. La fibra de PP reciclada industrial puede reducir las emisiones equivalentes de CO₂ en un 50%, equivalente a PO₄ en un 65%, use un 29% menos de agua y utilice un 78% menos de aceite, recursos naturales equivalentes en comparación con la fibra PP virgen. La fibra del PP reciclada doméstica ofrece un 32% de emisiones reducidas de CO₂ equivalente. El 27% redujo el ingreso de PO₄ y el 67% de reducción de petróleo consumo equivalente de recursos en comparación con la fibra PP virgen. Sin embargo, la producción de fibra del PP doméstica reciclada consume 3.5 veces más agua que la fibra de PP virgen debido al lavado. Mejoras en el uso del agua puede hacer que el reciclaje doméstico sea una opción más atractiva para la fuente de fibra PP (Yin, Tuladhar, Sheehan, Combe y Collister, 2016).

Para mejorar la durabilidad del concreto de pavimento de aeropuerto, cuatro tipos de fibras sintéticas reforzadas en el concreto fueron investigados en este documento. Hormigón de fibra sintética de poliéster modificado, Monofilamento de polipropileno reforzado con fibra sintética de hormigón, polipropileno reticular sintético hormigón reforzado con fibra y hormigón reforzado con fibra sintética de poliacrilonitrilo, fueron preparados en este documento. Se investigaron la resistencia, la impermeabilidad y la resistencia a las heladas de estos. La prueba de impermeabilidad se llevó a cabo por presión hidrostática y método de penetración de iones cloruro, mientras que la prueba de resistencia a las heladas se realizó mediante un método de congelación rápida. Los resultados muestran que la fibra sintética mejora la resistencia a la flexión del concreto, pero tiene poco efecto sobre la resistencia a la compresión. Por último, el análisis de costo-beneficio del hormigón armado reforzado con fibra, lo que demuestra que la aplicación de fibra de hormigón en la ingeniería del pavimento del aeropuerto tiene grandes beneficios económicos y amplias perspectivas de desarrollo (Chen, Cen y Cui, 2018).

La fibra de plástico reciclada macro ofrece importantes beneficios medioambientales sobre la fibra de plástico virgen y acero reforzamiento. Sin embargo, como hay una investigación limitada sobre el rendimiento de la fibra de plástico reciclado en concreto, aún no ha sido ampliamente adoptado por las industrias de la construcción. En esta investigación, *post-cracking* se estudió el rendimiento de diferentes tipos de fibras de polipropileno recicladas a partir de desechos industriales. Comparado con el de fibra de polipropileno virgen en concreto. Las fibras recicladas durante la realización del ensayo demostraron un buen equilibrio entre la resistencia a la tracción, el módulo de elasticidad y la unión de hormigón, produciendo así brillante desempeño post craqueo. Esta investigación demostró la viabilidad de usar fibras recicladas como refuerzo en pavimento de hormigón (Yin, et al., 2015).

Las pautas básicas para el diseño de un concreto reforzado con fibra a base de polipropileno en pavimento de carretera, tal como se aplica en una sección de prueba real que descansa dentro de un túnel del Cuadrilátero Marche-Umbria " proyecto de empoderamiento vial, Italia. Resultados de un seguimiento de seis meses realizado. También se presentan las cargas de tráfico reales, como retroalimentación a la etapa de diseño. Supervisión abarca la medición directa del nivel de tensión dentro del molde, así como la medición acústica. Se muestra que la tecnología de hormigón reforzado con fibras proporciona una solución eficiente, segura y rentable. Solución de diseño para carreteras, especialmente dentro de túneles (Nobili, Lanzoni y Tarantino, 2013).

HIPÓTESIS Y OJETIVOS

HIPÓTESIS

El uso de fibras sintéticas de polipropileno reciclado es una solución técnica, en la disminución y control de las fisuras generadas en el pavimento rígido en Lima, provocada por la retracción del concreto.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Controlar las fisuras en pavimentos de concreto con el uso de fibras sintéticas de polipropileno reciclado.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Determinar el diseño de mezclas que permita controlar las fisuras en pavimentos de concreto con adición de fibras sintéticas de polipropileno reciclado.
- ✓ Evaluar a través del ensayo de laboratorio (Retracción Plástica) el fenómeno de la retracción en concretos convencionales y en concretos con fibras sintéticas de polipropileno reciclado, para establecer el comportamiento asociado a la resistencia y fisuración.
- ✓ Comparar los concretos realizados con fibras recicladas y vírgenes con 116 y 176 gr, respecto a las fisuras generadas en el concreto. Además, se verificará la resistencia a la compresión y flexión, y los costos del volumen del concreto ensayado.
- ✓ Proponer un diseño de mezclas con fibras sintéticas de polipropileno reciclado y su evaluación económica.

DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO.

El uso de fibras sintéticas de polipropileno reciclado en el control de fisuras en losas de concreto, usadas como pavimento, propuesto en esta tesis se resume en los siguientes capítulos.

El capítulo 1, establecido por el marco teórico. Agrupa las definiciones y procedimientos importantes de esta investigación, los materiales principales de para la elaboración de concreto, fibras sintéticas recicladas de polipropileno, propiedades del concreto en su etapa inicial, clasificación de las fisuras, componentes del concreto para la preparación de las mezclas con adición de fibras, tipo de ensayo aplicado al concreto con fibras recicladas de polipropileno, descripción de la prueba de retracción plástica (ASTM C 1579).

El capítulo 2, establecido por la metodología. Describe los paso a paso para la elaboración de los ensayos, dentro de ello la caracterización de los materiales utilizados en el proceso experimental, para luego hacer el diseño de mezcla con fibras recicladas y vírgenes de polipropileno. Asimismo, luego de tener los diseños, se procederá hacer el ensayo de

retracción plástica definido por la norma ASTM C-1579 y por último los análisis finales respecto a los resultados obtenidos.

El capítulo 3, establecido por las fases de la investigación experimental. Inicia con la elaboración del diseño patrón de 210 kg/cm² y para los diseños con fibras recicladas y vírgenes de polipropileno, se tomará en cuenta el 58, 116 y 176 gr, de dosis de fibras sintéticas del volumen de concreto respectivamente. Luego de establecer los diseños correspondientes, se procederá a la ejecución del ensayo de retracción plástica (norma ASTM C-1579). Asimismo, se llegará a comparar los concretos fabricados con fibras vírgenes y recicladas de polipropileno, para luego analizar los resultados finales y poder concluir que tan favorable es poder utilizar las fibras recicladas de polipropileno en pavimentos de concreto.

El capítulo 4, establecido por las conclusiones y recomendaciones finales de la investigación experimental.

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

1.1 DEFINICIONES

1.1.1 Reciclaje de Plástico

El reciclaje de los plásticos significa la recuperación y la reprocesamiento de estos, cuando su vida útil terminó, para usarlos en nuevas aplicaciones. Debido al amplio uso en el embalaje y el envasado, la mayor parte de los desperdicios plásticos son de origen doméstico.

El impacto ambiental generado por los plásticos es muy importante de debido a su resistencia a la degradación, circunstancia que motiva su acumulación en los vertederos. Los plásticos contienen usualmente una variedad de aditivos como estabilizadores, agentes reforzantes, plastificantes, etc. Los cuales pueden generar sus propios efectos ambientales. Su baja densidad es causa de un mayor impacto visual y una elevación en el coste de su recolección y transporte.

La separación de los objetos de plástico de los residuos municipales resulta costosa.

1.1.2 Fibras

Filamentos de origen natural, artificial o sintético, apto para ser hilado y tejido, que generalmente presenta gran resistencia y buena flexibilidad.

1.1.3 Definición de fibras sintéticas de polipropileno

Las fibras sintéticas provienen de diferentes procesos químicos de productos derivando del petróleo, con resistencias elevadas a agentes externos y de difícil degradación; por ello, es usada en diferentes aplicaciones comerciales y textiles, en la actualidad de gran demanda.

Existen diferentes clasificaciones dependiendo de su utilización, por citar algunas como:

Fibras de poliamidas, conocidas como nylon (nailon), y aramidas.

Fibras de Poliéster, PET, usada en envases plásticos, geotextiles; PLA conocida como bioplástico; PTT, su composición es de más de un 37% de componentes son naturales.

Fibras acrílicas, estas fibras imitan las naturales como lana o pelo y son fácilmente teñidas y manipulables.

Fibras de poliolefinas, se obtiene a partir de plásticos, fundiéndolos y por medio de extracción convirtiéndolo en hilos finos y resistentes; Fibras de Polietileno, fibras elastómeras y fibras de polipropileno.

1.1.4 Pavimento de concreto

Es una losa de concreto simple o armada apoyada en la base o sub-base.

1.1.5. Retracción del concreto

La retracción o contracción es la reducción que experimenta el concreto durante el proceso de fraguado y secado. Se debe principalmente a la pérdida por evaporación del exceso de agua de mezclado.

Las deformaciones que surgen por retracción no intervienen en el estado de esfuerzos aplicados en el concreto, ver *Figura 3*.

Figura 3 Gráfico deformación del concreto/ tiempo



Fuente: Adaptado (R. Parky T. Paulay-Pg 14)

1.1.6 Diferencia entre fisura y grieta

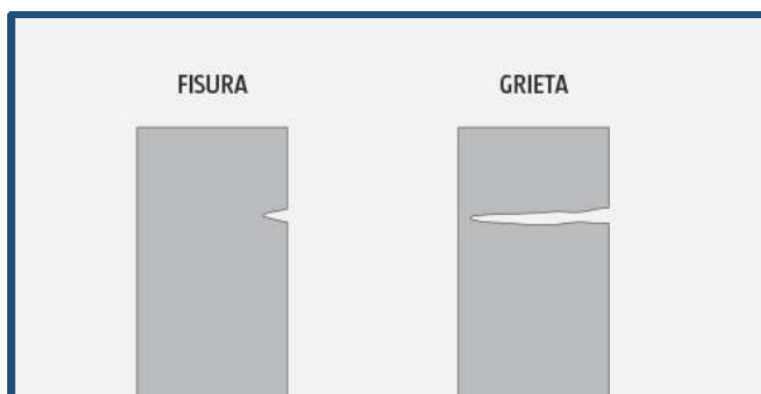
1.1.6.1 Fisuras

Es toda aquella abertura incontrolada que afecta solamente a la superficie del elemento o a su acabado superficial.

1.1.6.2 Grieta

Es toda aquella abertura incontrolada de un elemento superficial que afecta a todo su espesor, ver Figura 4.

Figura 4 Diferencia entre Fisura y Grieta Fuente



Fuente: Captura de pantalla <https://www.hagaloustedmismo.cl>

1.1.7. Fisuras

1.1.7.1 Fisuras en estado plástico

- Las fisuras originadas por la retracción plástica.

- Retracción hidráulica durante el fraguado (contracción plástica).
- Exceso de vibración.
- Las fisuras originadas por el asentamiento plástico.
- Estabilización o acomodo del concreto.
- Poco recubrimiento y excesivos diámetros de refuerzo.
- Cambios de consistencia en vaciados continuos.
- Desplazamiento del encofrado.
- Deformación del terreno de sustentación.

1.1.7.3. Fisuras en estado endurecido

- Fisuras originadas por movimientos espontáneos.
- Retracción hidráulica (contracción por secado).
- Contracción por carbonatación.
- Retracción térmica.
- Entumecimiento por oxidación del acero de refuerzo.
- Entumecimiento por exceso de expansivos del cemento.
- Reacción de álcalis en agregados.

1.1.7.4. Fisuras según su tamaño

En la *Tabla 1*, se aprecia la clasificación de las fisuras según el espesor de abertura

Tabla 1 Clasificación fisuras

<i>Clasificación</i>	<i>Espesor de Abertura "e" (mm)</i>	<i>Concepto</i>
<i>Micro fisuras</i>	$e < 0,05$	<i>En general carece de importancia estructural</i>
<i>Fisuras</i>	$0,05 < e > 0,20$	<i>Puede llegar a ser muy perjudiciales, en ambientes agresivos en los que favorecen la corrosión.</i>
<i>Macro fisuras</i>	$e > 0,20$	<i>Pueden ser muy peligrosas para la integridad de la estructura.</i>

Fuente: Coila-Loayza- Tesis 2015.

1.1.7.5. Fisuras según su comportamiento

Tabla 2 Fisuras según su comportamiento

CLASIFICACIÓN SEGUN SU COMPORTAMIENTO	CONCEPTO
Fisuras vivas	Cuando continúan en movimiento, expandiéndose, abriéndose o cerrándose.
Fisuras muertas	Cuando ya han dejado de crecer, no se mueven. También se les llama "estabilizadas".

Fuente: Coila-Loayza- Tesis 2015.

1.1.8. Granulometría

Es la gradación del tamaño de las rocas o granos que serán parte de los agregados finos y gruesos según lo indicado en la norma NTP 400.037 o ASTM C33.

1.1.9. Agregados

Son materiales pétreos inertes, resultado de la desintegración de las rocas ya sea en forma natural o provocada por el hombre a través de la trituración.

Los agregados ocupan aproximadamente el 75% del volumen de la unidad cubica de concreto.

1.1.10. Espécimen

Porción de la mezcla de concreto para determinar sus cualidades de esta.

1.1.11. Viscosidad

Es la propiedad que tiene el concreto para adherirse los agregados entre sí, gracias a la presencia de la pasta formada por el agua y cemento.

1.2. COMPONENTES DEL CONCRETO CON FIBRAS SINTÉTICAS DE POLIPROPILENO RECICLADO

1.2.1 Cemento Portland

El cemento portland es el aglomerante en la mezcla del concreto, que es producto de la calcinación de la piedra caliza, arcilla y areniscas a temperaturas comprendidas entre los 1400. Y 1600 grados centígrados de donde se obtiene el Clinker, que pulverizado da como resultado este componente.

1.2.2 Fibra Sintética de Polipropileno

Es una fibra sintética muy resistente y su uso diversos en la industria de envases, embalajes, autopartes, cuerdas, no tejidos.

1.2.3 Agregado Fino

El agregado fino es el producto de la desintegración de las rocas obtenido de manera natural o artificial, que pasa el tamiz 9.5mm (3/8") y cumple con los requisitos de la norma NTP 400.037 su desempeño es muy importante en la mezcla del concreto, debido a la superficie específica que ocupa el cual es mayor dentro del volumen de la mezcla y su función es cubrir todos los espacios entre los agregados a utilizar.

1.2.4 Agregado Grueso

Se define al agregado grueso al material retenido en el tamiz 4.75mm (N°4) proveniente de la desintegración natural o mecánica de las rocas y que cumple con los límites establecidos en la norma NTP 400.037.

1.2.5 Agua

El uso del agua para la elaboración del concreto es importante que no esté contaminada. Asimismo, en la mezcla del concreto deberá cumplir con los requisitos de la Norma NTP 339.088, de preferencia será potable.

1.3. PROPIEDADES DEL CONCRETO CON FIBRAS SINTÉTICAS DE POLIPROPILENO RECICLADO

1.3.1 En estado fresco

Se considera al concreto fresco desde el momento que se realiza la mezcla hasta que fragüe.

El comportamiento del concreto en estado fresco depende de:

- Relación agua / cemento.
- Grado de hidratación.
- Tamaño de partículas.
- Mezclado.
- Temperatura.

1.4 FASES DE LA PRODUCCIÓN DEL CONCRETO CON FIBRA SINTÉTICA DE POLIPROPILENO RECICLADO

1.4.1 Dosificación

Es la proporción apropiada de los materiales que componen el concreto, a fin de obtener la resistencia y durabilidad requerida. Expresado generalmente en gramos por metro cúbico (g/m³).

1.4.2 Mezclado

Es la combinación de agregados con el cemento, el agua y las fibras sintéticas de polipropileno recicladas con el fin de obtener una mezcla homogénea.

1.4.3 Transporte y Colocación

Es el proceso por el cual el concreto en estado fresco es ubicado en las probetas y moldes respectivos.

1.4.5 Compactación

Es el proceso por el cual se uniformiza la distribución de la mezcla con la ayuda de una varilla lisa para evitar los vacíos.

1.4.6 Curado

Es el proceso de mantener un adecuado contenido de humedad y temperatura en edades tempranas de manera que el concreto pueda desarrollar las propiedades con las cuales fue diseñada la mezcla, es importante curar el concreto inmediatamente después del fraguado.

1.5 TIPO DE ENSAYO APLICADO AL CONCRETO CON FIBRA SINTÉTICA DE POLIPROPILENO RECICLADO

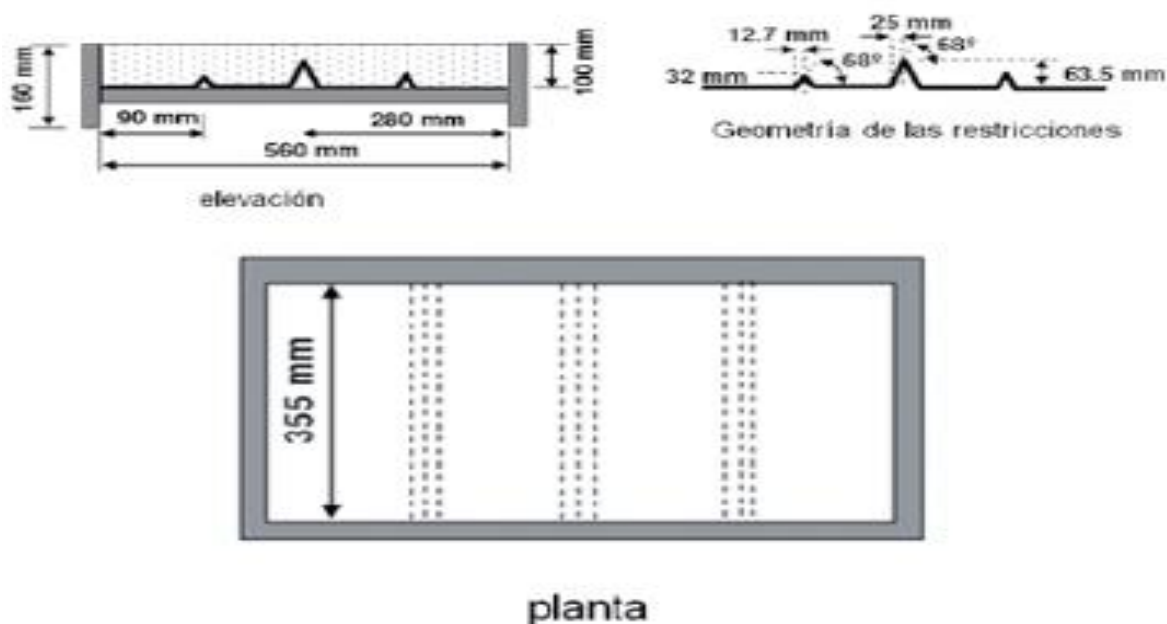
Existen varios tipos de ensayos usados para el análisis del comportamiento de las fisuras en el concreto, con la adición de fibras como la retracción restringida (ASTM C 1581), retracción libre (ACI 544) y finalmente la retracción plástica (ASTM C 1579) elegida para nuestra investigación

1.5.1 Retracción Plástica

Este ensayo se realiza de diferentes formas, la norma ASTM C – 1579 propone un modelo de ensayo para concretos reforzados con fibras que consiste en verter concreto sobre un molde con tres sobreelevaciones (ver *Figura 5*), dos más pequeñas provocan una restricción de movimiento, mientras que la central de mayor altura provoca una sección más débil que fuerza la aparición de la fisura de forma contralada. Las fisuras se pueden medir por diferentes métodos, que pueden ser el uso de plantillas/reglas de mediciones manuales o técnica fotográfica.

Estos ensayos se llevan a cabo en condiciones ambientales controladas

Figura 5 Molde para retracción plástica



Fuente: Adaptado norma ASTM C 1579

CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA

2.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

2.1.1 Cemento

Para el desarrollo de las pruebas experimentales de lozas de concreto se empleó el Cemento Portland Sol Tipo 1, según la NTP 334.009 para un diseño de mezclas propuesto con una resistencia de 280 Kg/cm².

2.1.2 Agregados

Los agregados utilizados en la elaboración de la mezcla de concreto fueron suministrados por la universidad, provienen de canteras reconocidas y cumplen con los estándares de calidad fijados por la institución.

2.1.3 Agregado fino

Se empleó un agregado fino- arena gruesa de reconocida concretera para garantizar los estándares planteados para lograr la resistencia propuesta.

2.1.4 Agregado grueso

Se define como agregado grueso- piedra chancada de superficies angulares Norma N.T.P. 400.037 ó ASTM C 33.y suministrado por la UPC como parte de los aportes a esta investigación.

2.1.4. Fibra sintética

Las fibras Polystark utilizadas para este proyecto son monofilamentos de polipropileno elaboradas con materia prima nueva y materia reciclada 70/30, integradas en la mezcla en diferentes proporciones. Además, se utilizará las fibras vírgenes PL 60 de nuestro proveedor FCM S.AC.

2.1.5. Agua

El agua de mezclado de concreto es agua de uso en el laboratorio, y cumple con los requisitos de la normativa.

2.1.6. Aditivos

Para garantizar la trabajabilidad del concreto y la colocación en los moldes se usó aditivos plastificantes Sika-Cem Plastificante; además, se utilizó el Sika-Cem Acelerante para nuestra investigación experimental.

2.2. DISEÑO

2.2.1. Diseño patrón

La resistencia mínima para garantizar durabilidad y resistencia en losas de concreto es de 210 kg/cm², la cual usaremos como partida para la investigación experimental, y basados

en pruebas anteriores como; caracterización de hormigón con fibras sintéticas recicladas y verificación de la dosificación de fibras sintéticas para neutralizar las fisuras causadas por contracción plástica en el concreto. Asimismo, teniendo en cuenta factores importantes en el diseño como la resistencia y la trabajabilidad.

2.2.2. Diseño con fibras sintéticas de polipropileno vírgenes

Para el diseño con fibras sintéticas vírgenes de polipropileno para un concreto de 210 kg/cm², se tomará 2 muestras, con 116 y 176 gr de fibras, teniendo en cuenta la relación A/C, cantidad de los agregados finos y grueso, cantidad de cemento tipo I y aditivo plastificante.

2.2.3. Diseño con fibras sintéticas de polipropileno recicladas.

Para el diseño con fibras sintéticas recicladas de polipropileno para un concreto de 210 kg/cm², se tomará 3 muestras, con 58, 116 y 176 gr de fibras, teniendo en cuenta la relación A/C, cantidad de los agregados finos y grueso, cantidad de cemento Sol tipo I y aditivo plastificante.

2.3. ENSAYO

2.3.1. Ensayo por retracción plástica

Este ensayo es fundamental para la investigación experimental, se basa un molde rectangular fabricado y cumpliendo con la norma ASTM C 1579, para simular las losas de concreto usado en pavimentos.

2.4. ANALISIS DE RESULTADOS

Se recopilan los datos de las diferentes pruebas efectuadas, se compara los resultados obtenidos de dosificaciones con y sin adición de fibras sintéticas vírgenes y recicladas; finalmente se realiza las conclusiones de la investigación.

CAPÍTULO 3: FASES DE LA INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

3.1 DISEÑO DE MEZCLA

3.1.1 Diseño patrón

La resistencia mínima para garantizar durabilidad y resistencia en losas de concreto es de 210 kg/cm² (ver *Tabla 3*), la cual usaremos como partida para la investigación experimental, y basados en pruebas anteriores como; caracterización de hormigón con fibras sintéticas recicladas y verificación de la dosificación de fibras sintéticas para neutralizar las fisuras causadas por contracción plástica en el concreto. Asimismo, teniendo en cuenta factores importantes en el diseño como la resistencia y la trabajabilidad. En esta etapa se desarrolla el diseño de mezclas por los diferentes métodos usados con más frecuencia, contemplando los requerimientos de uso y especificaciones mínimas.

Tabla 3 Requisitos para condiciones especiales de exposición.

Condición de exposición	Relación máxima agua - material cementante (en peso) para concretos de peso normal.	f'c mínimo (Mpa) para concretos de peso normal o con agregados ligeros.
Concreto que se pretende tenga baja permeabilidad en exposición al agua.	0,50	21
Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo en condición húmeda o a productos químicos descongelantes.	0,45	31
Para proteger de la corrosión el refuerzo de acero cuando el concreto está expuesto a cloruros provenientes de productos descongelantes, sal, agua salobre, agua de mar o a salpicaduras del mismo origen.	0,40	35

Fuente: RNE/E.060

DISEÑO DE MEZCLAS POR EL MÉTODO ACI 211

El uso de este método nos permite definir la cantidad de materiales necesarios para la preparación de las mezclas con una determinada resistencia, para lo cual, se debe realizar el análisis previo de cada uno de los componentes, determinando las características físicas y luego realizar las proporciones de cada Agregado grueso, agregado fino, agua y cemento. Adicionalmente, dependiendo de las necesidades de instalación y trabajabilidad se agrega,

previos cálculos, los aditivos plastificantes y acelerantes. En la *Tabla 4*, se describe el resumen de las proporciones calculadas.

Tabla 4 Resumen diseño patrón método ACI 211

Datos de los agregados

CARACTERISTICAS	UNIDAD	A. GRUESO	A. FINO
Peso Específico	Kg/m ³	2,717	2,668
Peso Unitario Seco	Kg/m ³	1,61	1,59
Peso Unitario Compactado	Kg/m ³	1,72	1,83
Tamaño Máximo Nominal	Pulg	1"	-
Módulo de Fineza	Pulg	-	3,093
Absorción	%	0,631	0,949
Humedad	%	0,654	0,33
Peso específico Cemento:		3,12	gr/cm ³
Peso específico Agua:		1,00	gr/cm ³

CONSIDERACIONES:

Descripción	Valor	Unidades
Slump:	8	cms
Agua:	193	lts
Relación A/C	0,466	
Vol. A. Grueso	0,667	
Aire:	1,5	
F'c:	364	Kg/cm ²

ELEMENTO	PESO	P.E.	VOLUMEN
Agua	193,00	1.000,00	0,193
Cemento	414,16	3.120,00	0,133
Aire	-	-	0,015
A. Grueso	1.145,24	2.717,00	0,422
A. Fino	634,31	2.668,00	0,238
Aditivo Acelerante	16,56	1.380,00	0,012

CORRECCION POR ABSORCION Y HUMEDAD

A. GRUESO	-0,023	1145,24	-0,263
A. FINO	0,619	634,31	3,926
Agua	196,66	Lts	

DISEÑO DE PROPORCIONES DE MEZCLA

CEMENTO	A. GRUESO	A. FINO
1,00	2,8	1,5
1	3	2

Fuente: Propia.

MÉTODO MÓDULO DE FINEZA POR COMBINACIÓN DE AGREGADOS

Para la realización del método por combinación de agregados se procedió a realizar la granulometría de los agregados gruesos y finos, para tener como dato inicial el TMN, el módulo de fineza y el peso específico de los materiales. (Ver anexo 1.)

Luego se procedió a diseñar con los datos ensayados a los agregados. Los pasos son los siguientes para un 1m³ de concreto.

- 1) Se seleccionó la resistencia requerida

$$F'c + 84$$

$$F'cr = 210 + 84$$

$$F'cr = 294 \text{ kg/cm}^2$$

- 2) Se seleccionó el TMN del agregado grueso

$$\text{TMN} = 1''$$

- 3) Se seleccionó el asentamiento (para Pavimentos rígidos)

$$\text{Slump} = 3'' - 4''$$

- 4) Se seleccionó el contenido de agua.

Tabla 5 Volumen unitario de agua según tabla 9 Comité ACI 211

VOLUMEN UNITARIO DE AGUA

Tamaño Máximo Nominal	Volumen unitario de agua, expresado en lt/m ³					
	Slump: 1" a 2"		Slump: 3" a 4"		Slump: 6" a 7"	
	Agregado redondeado	Agregado angular	Agregado redondeado	Agregado angular	Agregado redondeado	Agregado angular
3/8"	185	212	201	227	230	250
1/2"	182	201	197	216	219	238
3/4"	170	189	185	204	208	227
1"	163	182	178	197	197	216
1 1/2"	155	170	170	185	185	204
2"	148	163	163	178	178	197
3"	136	151	151	167	173	182

Fuente: Comité 211 del ACI

La cantidad seleccionada de Agua para nuestro análisis es = 197 lt/m³

5) Se seleccionó la relación agua/cemento por resistencia a la compresión

Tabla 6 Relación agua / cemento por resistencia según Tabla 5 comité ACI 211

RELACIÓN AGUA / CEMENTO POR RESISTENCIA

Relación agua cemento en peso		
F' C (kg/cm ²)	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0,80	0,71
200	0,70	0,61
250	0,62	0,53
300	0,55	0,46
350	0,48	0,40
400	0,43	
450	0,38	

Fuente: Comité 211 del ACI

INTERPOLACIÓN		
	F'C (kg/cm ²)	A/C
Superior	300	0,55
Incógnita	294	X
Inferior	250	0,62
	X =	0,56

De la interpolación de los datos de la tabla 5 ACI, se tiene como resultado A/C = **0.56**

6) Se calculó el módulo de fineza de la combinación de agregados.

Tabla 7 Módulo de fineza de la combinación de agregados

MODULO DE FINEZA DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS

Tamaño máximo nominal del agregado grueso	Módulo de fineza de la combinación de agregados que da las mejores condiciones de trabajabilidad para los contenidos de cemento en sacos por metro cúbico indicados			
	6	7	8	9
3/8"	3,96	4,04	4,11	4,19
1/2"	4,46	4,54	4,61	4,69
3/4"	4,96	5,04	5,11	5,19
1"	5,26	5,34	5,41	5,49
1 1/2"	5,56	5,64	5,71	5,79
2"	5,86	5,94	6,01	6,09
3"	6,16	6,24	6,31	6,39

Fuente: Comité del ACI

Para nuestro diseño se utilizará 9 bolsas por m³ de concreto

Módulo = **5.49**

Módulo de fineza de la arena gruesa: **2.83**

Módulo de fineza de la piedra chancada: **8.09**

7) Se calculó el contenido de cemento (Agua / Cemento, a/c)

Cemento = **197 / 0.56**

Cemento = **351.79 kg**

8) Se calculó el % de agregados de los materiales

$$rf = \frac{m_g - m}{m_g - m_f} \times 100$$

Dónde:

m: Módulo de finura de la combinación

mf: Módulo de finura del agregado fino

mg: Módulo de finura del agregado grueso

Los % de los agregados son los siguientes:

% del Agregado Fino: **49.43 %**

% del Agregado Grueso: **50.57 %**

9) Cálculo los volúmenes de los agregados.

Tabla 8 Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto, Tabla 4 comité ACI 211

VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO

Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso (mm)	Volumen de agregado grueso y compactado por unidad de volumen de concreto (b/bo), para diferentes módulos de fineza del agregado			
	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5	0,50	0,48	0,46	0,44
12,7	0,59	0,57	0,55	0,53
19,0	0,66	0,64	0,62	0,60
25,4	0,71	0,69	0,67	0,65
38,0	0,76	0,74	0,72	0,70
50,8	0,78	0,76	0,74	0,72
76,0	0,81	0,79	0,77	0,75
152,0	0,87	0,85	0,83	0,81

Fuente: Comité 211 del ACI

INTERPOLACIÓN

Superior	3,00	0,65
incógnita	2,83	X
inferior	2,80	0,67
	X=	0,667

Volumen del agregado fino: $0.667 \times 49.43 \% = \mathbf{0.33}$

Volumen del agregado grueso: $0.667 \times 51.00 \% = \mathbf{0.34}$

10) Se calculó el peso específico de los agregados referenciados en las tablas (**Ver anexo N° 5 y N° 6**).

Agregado Fino: $2610 \times 0.33 = \mathbf{860.51}$ kg/m³

Agregado Grueso: $2670 \times 0.34 = \mathbf{900.60}$ kg/m³

Tabla 9 Resumen diseño patrón método combinación de agregados

Datos de los agregados

CARACTERISTICAS	UNIDAD	A. GRUESO	A. FINO
Peso Específico	Kg/m ³	2670	2610
Peso Unitario Seco	Kg/m ³	1610	1591
Peso Unitario Compactado	Kg/m ³	1717	1826
Tamaño Máximo Nominal	Pulg	1"	-
Módulo de Fineza	Pulg	8,09	3,09
Absorción	%	0,63	0,95
Humedad	%	0,65	0,33
Peso específico Cemento:		3120	kg/m ³
Peso específico Agua:		1000	kg/m ³
CONSIDERACIONES:			
Descripción	Valor	Unidades	
Slump:	3" - 4"		
Agua	193	kg/m ³	
Relación A/C	0,466		
F'c:	364	Kg/cm ²	F'c + 84
ELEMENTO	PESO	P.E.	VOLUMEN
Agua	193,00	1.000	0,193
Cemento	414,16	3.120	
A. Grueso		2.670	
A. Fino		2.610	
Aditivo Acelerante	16,56	1.380	0,012

Fuente: propia.

Para el ensayo experimental, se usó un molde rectangular metálico fabricado y cumpliendo con la norma ASTM C 1579 (ver *Figura 6*), para simular una losa de concreto con las siguientes dimensiones:

56 cm largo, 36 cm de ancho y 10 cm de alto

Figura 6 Molde Metálico según norma ASTM C 1579



Fuente: Adaptado norma ASTM C 1579

Luego de definir el aporte de los materiales para 1 m³ de concreto, se realizó el diseño patrón para una resistencia de 210 kg/cm² y un volumen de 0.044 m³. Las cantidades son las siguientes, Ver *Tabla 10* y *11*.

Tabla 10 Diseño de mezclas patrón por combinación de agregados

Diseño de mezclas patrón por combinación de agregados

Descripción	Valor	Unidades	
Slump	3" - 4"		
volumen	0,044	m³	
Materiales	Peso Seco (Kg)	Metrado	Parcial
Cemento	351,79	0,044	15,48
Agua	197,00	0,044	8,67
A. Grueso	900,60	0,044	39,63
A. Fino	860,51	0,044	37,86
Material	Bls cemento	Cantidad ml / bls	Parcial
A. plastificante	0,36	250	91,05
A. acelerante	1,00	619,20	619,20

Fuente: Propia

Tabla 11 Resumen de volumen de concreto patrón por combinación de agregados

Resumen de volumen de concreto patrón

Descripción	Cantidad	Total	Unidades
Losas	1	0,02	m3
Probetas	3	0,07	m3
Total concreto		0,09	m3

Fuente: Propia

3.2. DISEÑO CON FIBRAS SINTÉTICAS DE POLIPROPILENO VIRGENES

Para el diseño con fibras sintéticas vírgenes de polipropileno para un concreto de 210 kg/cm², se tomará 2 muestras, con 116 gr y 176 gr de fibras, teniendo en cuenta la relación A/C, cantidad de los agregados finos y grueso, cantidad de cemento tipo I y aditivo plastificante y acelerante.

Como se puede observar en la *Tabla 12*, para un concreto con 116 gr de fibra virgen de polipropileno se tiene las siguientes cantidades de materiales, para un volumen de 0.044 m³ de concreto.

Tabla 12 Diseño de mezclas con fibras vírgenes (116 gr.) por combinación de agregados

Diseño de mezclas con fibras vírgenes (116 gr.)

Descripción	Valor	Unidades	
Slump	3" - 4"		
volumen	0,044	m3	
Materiales	Peso Seco (Kg)	Metrado	Parcial
Cemento	351,79	0,044	15,48
Agua	197,00	0,044	8,67
A. Grueso	900,60	0,044	39,63
A. Fino	860,51	0,044	37,86
Material	Bls cemento	Cantidad ml / bls	Parcial
A. plastificante	0,36	250	91
A. acelerante	1,00	619,20	619
F. Virgen	116,00	gr	

Fuente: Propia

Como se puede observar en la *Tabla 13*, para un concreto con 176 gr de fibra virgen de polipropileno se tiene las siguientes cantidades de materiales, para un volumen de 0.044 m³ de concreto.

Tabla 13 Diseño de mezclas con fibras vírgenes (176 gr.) por combinación de agregados

Diseño de mezclas con fibras vírgenes (176 gr.)

Descripción	Valor	Unidades	
Slump	3" - 4"		
volumen	0,044	m3	
Materiales	Peso Seco (Kg)	Metrado	Parcial
Cemento	351,79	0,044	15,48
Agua	197,00	0,044	8,67
A. Grueso	900,60	0,044	39,63
A. Fino	860,51	0,044	37,86
Material	Bls cemento	Cantidad ml / bls	Parcial
A. plastificante	0,36	250	91
A. acelerante	1,00	619,20	619
F. Virgen	176,00	gr	

Fuente: Propia

En la *Tabla 14*, se observa el volumen total de concreto ensayado (2 losas o moldes metálicos y 6 probetas). Además, la cantidad total de fibras vírgenes de polipropileno utilizado.

Tabla 14 Resumen de volúmenes de concreto con fibras vírgenes por combinación de agregados

Resumen de volúmenes de concreto con fibras vírgenes

Descripción	Cantidad	Total	Unidades
Losas	2	0,04	m3
Probetas	6	0,13	m3
Total concreto		0,18	m3
F. Virgen		116,00	gr
F. Virgen		176,00	gr
Total fibras		292,00	m3

Fuente: Propia

3.3. DISEÑO CON FIBRAS SINTÉTICAS DE POLIPROPILENO RECICLADAS.

Para el diseño con fibras sintéticas recicladas de polipropileno para un concreto de 210 kg/cm², se tomará 3 muestras, con 58, 116 y 176 gr de fibras, teniendo en cuenta.

Como se puede observar en la *Tabla 15* para un volumen de 0.044 m³ de concreto, adicionándole 58 gr de fibra reciclada de polipropileno, se tiene las siguientes cantidades de materiales:

Tabla 15 Diseño de mezclas con fibras recicladas (58 gr.) / Combinación de agregados

Diseño de mezclas con fibras recicladas (58 gr.)

Descripción	Valor	Unidades	
Slump	3" - 4"		
volumen	0,044	m3	
Materiales	Peso Seco (Kg)	Metrado	Parcial
Cemento	351,79	0,044	15,48
Agua	197,00	0,044	8,67
A. Grueso	900,60	0,044	39,63
A. Fino	860,51	0,044	37,86
Material	Bls cemento	Cantidad ml / bls	Parcial
A. plastificante	0,36	250	91
A. acelerante	1,00	619,20	619
F. Reciclada	58,00	gr	

Fuente: Propia

En la *Tabla 16* se observa que, para un concreto con 116 gr de fibra reciclada de polipropileno, se tiene las siguientes cantidades de materiales, para el volumen ensayado de 0.044 m³ de concreto:

Tabla 16 Diseño con 116 gr. de Fibras Recicladas /Combinación de agregados

Diseño de mezclas con fibras recicladas (116 gr.)

Descripción	Valor	Unidades	
Slump	3" - 4"		
volumen	0,044	m3	
Materiales	Peso Seco (Kg)	Metrado	Parcial
Cemento	351,79	0,044	15,48
Agua	197,00	0,044	8,67
A. Grueso	900,60	0,044	39,63
A. Fino	860,51	0,044	37,86
Material	Bls cemento	Cantidad ml / bls	Parcial
A. plastificante	0,36	250	91
A. acelerante	1,00	619,20	619

F. Reciclada	116,00	gr
--------------	--------	----

Fuente: Propia

En la *Tabla 17* se observa que, para un concreto con 176 gr de fibra reciclada de polipropileno, se tiene las siguientes cantidades de materiales, para el volumen ensayado de 0.044 m³ de concreto:

Tabla 17 Diseño con 176 gr. de Fibras Recicladas /Combinación de agregados

Diseño de mezclas con fibras recicladas (176 gr.)

Descripción	Valor	Unidades	
Slump	3" - 4"		
volumen	0,044	m3	
Material	Peso Seco (Kg)	Metrado	Parcial
Cemento	351,79	0,044	15,48
Agua	197,00	0,044	8,67
A. Grueso	900,60	0,044	39,63
A. Fino	860,51	0,044	37,86
Material	Bls cemento	Cantidad ml / bls	Parcial
A. plastificante	0,36	250	91
A. acelerante	1,00	619,20	619
F. Reciclada	176,00	gr	

Fuente: Propia

En la *Tabla 18*, se observa el volumen total de concreto ensayado (3 losas o moldes metálicos y 9 probetas). Además, la cantidad total de fibras recicladas de polipropileno utilizado.

Tabla 18 Resumen volumen concreto /Fibras Recicladas /Combinación de agregados

Resumen de volúmenes de concreto con fibras recicladas

Descripción	Cantidad	Total	Unidades
Losas	3	0,07	m3
Probetas	9	0,20	m3
Total concreto		0,26	m3
F. Recicladas		58,00	gr
F. Recicladas		116,00	gr
F. Recicladas		176,00	gr
Total fibras		350,00	m3

Fuente: Propia

3.2 EJECUCIÓN DE ENSAYO POR RETRACCIÓN PLÁSTICA

3.2.1 ELABORACIÓN DEL CONCRETO PATRÓN

Para la elaboración del concreto patrón se utilizó dos métodos, uno por ACI 211 y otro por el módulo de fineza por combinación de agregados, para estos dos métodos se le agregó el aditivo plastificante a la dosificación de los materiales para lograr el slump requerido y poder verificar si se cumple con la resistencia utilizada en obras de infraestructura de pavimentos rígido (280 Kg/cm²). Asimismo, se procedió a iniciar el ensayo verificando el asentamiento según NTP 339.035 para el método ACI, teniendo como resultado 5" (Slump); y por el método de combinación de agregados obteniendo como resultado 7" de Slump. No cumpliendo con los resultados de 3" a 4" de asentamiento.

Posteriormente se realizó las pruebas a la compresión de las probetas elaboradas por los dos métodos, teniendo como resultado que la resistencia cumplía con los parámetros del diseño experimental.

Se replanteo el diseño inicial (ACI 211) porque se evidencio mayor cantidad de agregado grueso respecto al agregado fino y teniendo como resultado que no cumplía con el TMN por el tipo y tamaño del molde, con lo cual, se optó por usar el método módulo de fineza por combinación de agregados manteniendo la resistencia de 280 kg/cm²; encontrando una mejor trabajabilidad. Asimismo, al diseño se agregó una cantidad de aditivo acelerante Sika Cem, respecto a la cantidad de cemento del ensayo realizado. El uso del aditivo acelerante usado en esta investigación tiene como propósito evidenciar en un corto tiempo, la resistencia proyectada y en las primaras horas la aparición de fisuras en su estado plástico.

Finalmente, se replanteo el diseño para una resistencia de 210 kg/cm², porque con el diseño de 280 Kg/cm² no se encontró fisuras; se puede afirmar que, para un concreto de esta resistencia, el volumen de concreto, el tamaño del molde y las condiciones ambientales generadas no permiten la aparición de fisuras.

Se inicia la ejecución del ensayo patrón de concreto convencional para una resistencia de 210 Kg/cm², generando el amasado y realizando el ensayo de asentamiento (slump), obteniendo como resultado de 3 1/2", cumpliendo con el parámetro establecido para pavimentos rígidos de 3" a 4" de asentamiento. Además, se vaciaron probetas cilíndricas y

rectangulares para luego hacer los ensayos respectivos a la compresión y flexión. Por último, se obtuvo como resultado de estas pruebas:

Luego de efectuar, verificar el Slump y resistencia deseada, se procedió a ejecutar los ensayos con adición de fibras de polipropileno recicladas y vírgenes en cantidades de 58, 116 y 176 gr. respectivamente.

En la *Figura 7*, se puede observar el asentamiento de 3 ½” para el concreto patrón.

Figura 7 Slump de 3 1/2” Diseño Patrón



Fuente Propia.

Se puede observar en la *Figura 8*, el mueble de madera 1m de ancho, 1m de largo y 1m de alto para la realización y adecuación del ambiente para el concreto patrón. Asimismo, simulando con el reflector y el ventilador las condiciones de calor y viento respectivamente, verificando con el higrómetro las mediciones de temperatura y humedad. Se registró una temperatura de 24° C y 80% de humedad.

Figura 8 Concreto en Molde metálico



Fuente Propia.

En la *Figura 9* se puede observar las fisuras más representativas de 0.10mm, la cual se dieron durante las dos primeras horas.

Figura 9 Fisura en concreto patrón de 0.50 mm



Fuente Propia.

3.2.2 ENSAYO CON FIBRA VIRGEN

3.2.2.1 ENSAYO CON FIBRA VIRGEN 116 GR

En la preparación para un volumen ($V= 0.044\text{m}^3$) de concreto se agregó 116 gr. de fibras sintéticas vírgenes. La cantidad propuesta para este diseño tiene relación con la cantidad de fibra por m^3 , sugerida por el proveedor (Fibras cortadas y monofilamentos SAC) del volumen ensayado. Se procedió hacer la mezcla teniendo en cuenta el asentamiento previsto y la resistencia requerida de 210 kg/cm^2 . Además, antes del procedimiento de vaciado del concreto en el molde metálico, se verificó el asentamiento, obteniendo como resultado el slump de $3 \frac{1}{2}$ ". (*Figura 10*). Por último, se vaciaron probetas para los ensayos a la compresión y flexión.

Figura 10 Slump de $3 \frac{1}{2}$ " con Fibras Virgen 116 gr



Fuente Propia

Se puede observar en la *Figura 11*, el mueble de madera 1m de ancho, 1m de largo y 1m de alto para la realización y adecuación del ambiente para el concreto con 116 gr. de fibras vírgenes. Asimismo, simulando con el reflector y el ventilador las condiciones de calor y viento respectivamente, verificando con el higrómetro las mediciones de temperatura y humedad. Se registró una temperatura de 24°C y 80% de humedad controlada durante las primeras 4 horas.

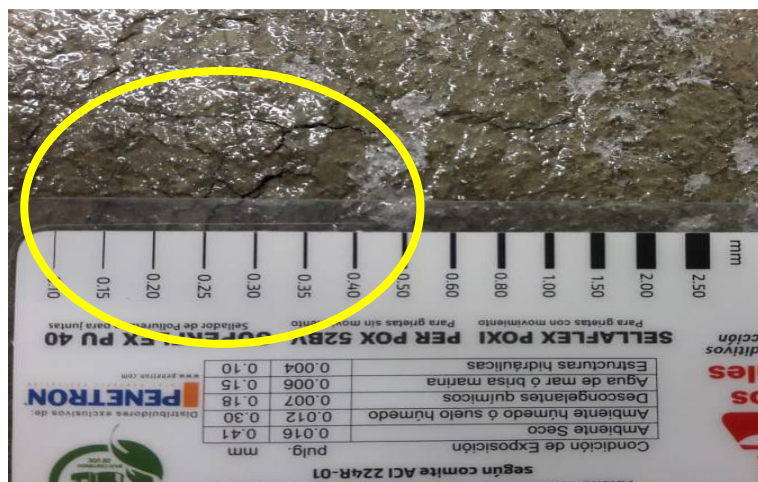
Figura 11 Concreto vaciado en Molde metálico con 116 gr de fibra virgen



Fuente Propia

En la *Figura 12* se puede observar las fisuras más representativas de 0.25mm, la cual se dieron durante las dos primeras horas.

Figura 12 Fisura de 0.25 mm en concreto con 116 gr. de fibra virgen



Fuente Propia.

3.2.2.2 ENSAYO CON FIBRA VIRGEN 176 GR

En la preparación para un volumen ($V= 0.044m^3$) de concreto se agregó 176 gr. de fibras sintéticas vírgenes. La cantidad propuesta para este diseño tiene relación con la cantidad de fibra por m^3 , sugerida por el proveedor (Fibras cortadas y monofilamentos SAC) del volumen ensayado. Se procedió hacer la mezcla teniendo en cuenta el asentamiento previsto y la resistencia requerida de 210 kg/cm^2 . Además, antes del procedimiento de

vaciado del concreto en el molde metálico, se verificó el asentamiento, obteniendo como resultado el slump de 3" (*Figura 13*). Por último, se vaciaron probetas para los ensayos a la compresión y flexión.

Figura 13 Slump de 3" con Fibras Virgen 176 gr



Fuente Propia

Se puede observar en la *Figura 14* el mueble de madera 1m de ancho, 1m de largo y 1m de alto para la realización y adecuación del ambiente para el concreto con 176 gr. de fibras vírgenes. Asimismo, simulando con el reflector y el ventilador las condiciones de calor y viento respectivamente, verificando con el higrómetro las mediciones de temperatura y humedad. Se registró una temperatura de 24° C y 80% de humedad controlada durante las primeras 4 horas.

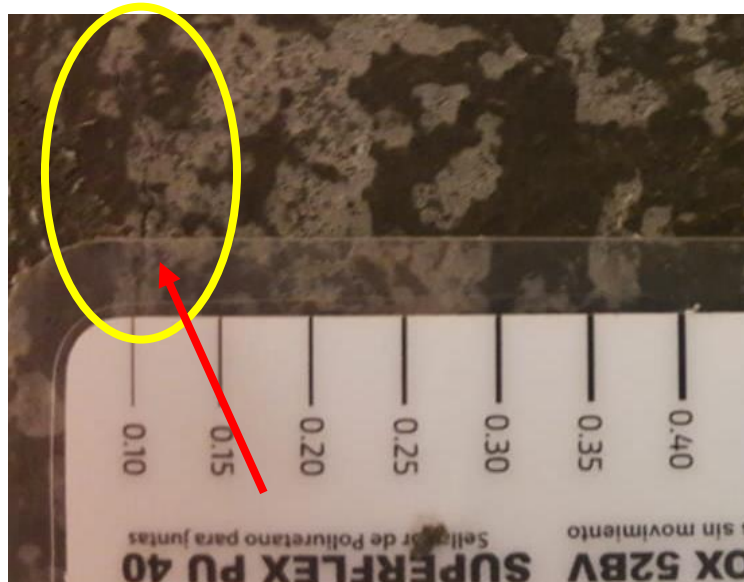
Figura 14 Concreto vaciado en Molde metálico con 175 gr de fibra virgen



Fuente Propia.

En la Figura 15, se puede observar las fisuras más representativas de 0.10mm, la cuales aparecieron durante las dos primeras horas.

Figura 15 Fisura de 0.10 mm en concreto con 176 gr de fibra virgen



Fuente Propia.

3.2.3 ENSAYO CON FIBRA RECICLADA

3.2.3.1 ENSAYO CON FIBRA RECICLADA 58 GR

En la preparación para un volumen ($V = 0.044\text{m}^3$) de concreto se agregó 58 gr. de fibras sintéticas recicladas. La cantidad propuesta para este diseño tiene relación con la cantidad de fibra por m^3 , sugerida por el proveedor (Fibras cortadas y monofilamentos SAC) del volumen ensayado. Se procedió hacer la mezcla teniendo en cuenta el asentamiento previsto y la resistencia requerida de 210 kg/cm^2 . Además, antes del procedimiento de vaciado del concreto en el molde metálico, se verificó el asentamiento, obteniendo como resultado el slump de 3". (*Figura 16*). Por último, se vaciaron probetas para los ensayos a la compresión y flexión.

Figura 16 Slump de 3" con 58 gr Fibras Reciclada



Fuente Propia

Se puede observar en la *Figura 17*, el mueble de madera 1m de ancho, 1m de largo y 1m de alto para la realización y adecuación del ambiente para el concreto con 58 gr. de fibras recicladas. Asimismo, simulando con el reflector y el ventilador las condiciones de calor y viento respectivamente, verificando con el higrómetro las mediciones de temperatura y humedad. Se registró una temperatura de 24°C y 80% de humedad controlada durante las primeras 4 horas.

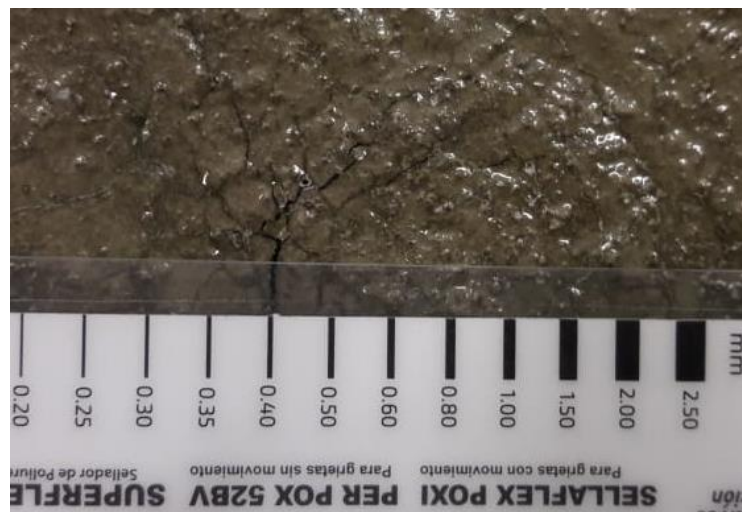
Figura 17 Concreto vaciado con fibra 58 gr de fibra reciclada en Molde metálico



Fuente Propia

En la *Figura 18*, se puede observar las fisuras más representativas de 0.40 mm, la cual se dieron durante las dos primeras horas.

Figura 18 Fisura de 0.40 mm en concreto con 58 gr. de fibra reciclada



Fuente Propia.

3.2.3.2 ENSAYO CON FIBRA RECICLADA 116 GR

En la preparación para un volumen ($V= 0.044\text{m}^3$) de concreto se agregó 116 gr. de fibras sintéticas recicladas. La cantidad propuesta para este diseño tiene relación con la cantidad de fibra por m^3 , sugerida por el proveedor (Fibras cortadas y monofilamentos SAC) del volumen ensayado. Se procedió hacer la mezcla teniendo en cuenta el asentamiento previsto y la resistencia requerida de 210 kg/cm^2 . Además, antes del procedimiento de vaciado del concreto en el molde metálico, se verificó el asentamiento, obteniendo como resultado el slump de $3 \frac{1}{2}''$ (ver *Figura 19*). Por último, se vaciaron probetas para los ensayos a la compresión y flexión.

Figura 19 Slump de $3 \frac{1}{2}''$ con Fibras Reciclada 116 gr



Fuente Propia.

Se puede observar en la *Figura 20*, el mueble de madera 1m de ancho, 1m de largo y 1m de alto para la realización y adecuación del ambiente para el concreto con 116 gr. de fibras recicladas. Asimismo, simulando con el reflector y el ventilador las condiciones de calor y viento respectivamente, verificando con el higrómetro las mediciones de temperatura y humedad. Se registró una temperatura de 24°C y 80% de humedad controlada durante las primeras 4 horas.

Figura 20 Vaciado concreto con 116 gr.de fibras reciclada



Fuente Propia

En la *Figura 21*, se puede observar las fisuras más representativas de 0.35 mm, la cual se dieron durante las dos primeras horas.

Figura 21 Fisuras de 0.35 mm en concreto con 116 gr. de fibra reciclada



Fuente Propia.

3.2.3.3 ENSAYO CON FIBRA RECICLADA 176 GR

En la preparación para un volumen ($V= 0.044\text{m}^3$) de concreto se agregó 176 gr. de fibras sintéticas recicladas. La cantidad propuesta para este diseño tiene relación con la cantidad de fibra por m^3 , sugerida por el proveedor (Fibras cortadas y monofilamentos SAC) del volumen ensayado. Se procedió hacer la mezcla teniendo en cuenta el asentamiento previsto y la resistencia requerida de 210 kg/cm^2 . Además, antes del procedimiento de vaciado del concreto en el molde metálico, se verificó el asentamiento, obteniendo como resultado el slump de $3 \frac{1}{2}''$ (ver *Figura 22*). Por último, se vaciaron probetas para los ensayos a la compresión y flexión.

Figura 22 Slump de $3 \frac{1}{2}''$ con 176 gr Fibras Recicladas



Fuente Propia

Se puede observar en la *Figura 23*, el mueble de madera 1m de ancho, 1m de largo y 1m de alto para la realización y adecuación del ambiente para el concreto con 176 gr. de fibras recicladas. Asimismo, simulando con el reflector y el ventilador las condiciones de calor y viento respectivamente, verificando con el higrómetro las mediciones de temperatura y humedad. Se registró una temperatura de 24°C y 80% de humedad controlada durante las primeras 4 horas.

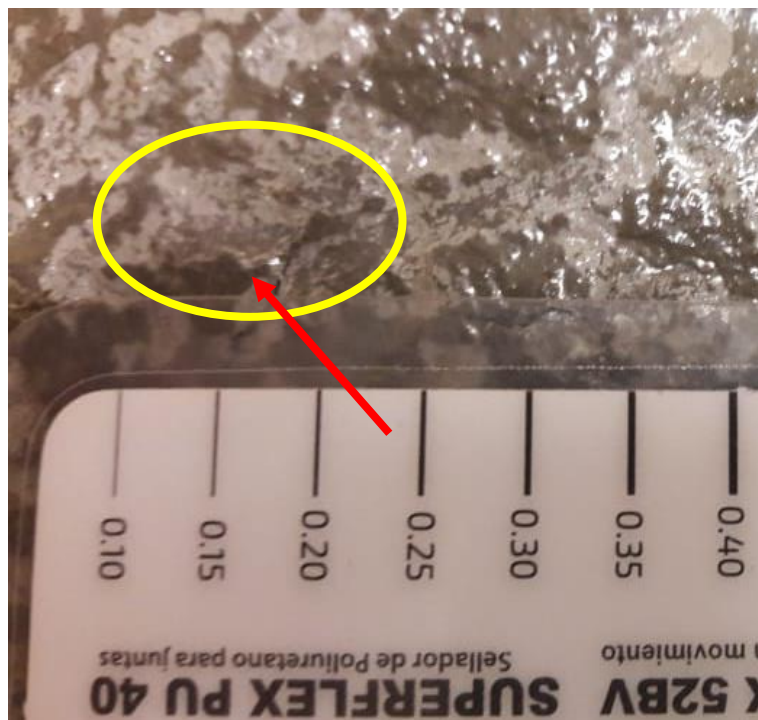
Figura 23 Vaciado concreto con 176 gr de fibras recicladas



Fuente Propia

En la *Figura 24*, se puede observar las fisuras más representativas de 0.15 mm, la cual se dieron durante las dos primeras horas.

Figura 24 Fisuras de 0.15 mm en concreto con 176 gr. de fibra reciclada



Fuente Propia.

3.3 COMPARACION DE LOS CONCRETOS CON FIBRAS SINTETICAS VÍRGENES Y RECICLADAS DE POLIPROPILENO

Luego de la finalización de los ensayos se llegó a comparar las fisuras generadas en su estado plástico, teniendo como resultado los siguientes espesores respecto a los diferentes diseños y proporciones de 116 gr. y 176 gr. de fibras, *ver Tabla 19*.

Tabla 19 Comparación de espesor (mm) de fisuras según la cantidad de fibra

Concreto (210 kg/cm²)	Cantidad (gr.)	Espesor (mm)	Tipo
Fibra reciclada	116	0,35	Macrofisura
	176	0,15	Fisura
Fibra virgen	116	0,25	Macrofisura
	176	0,10	Fisura

Fuente: propia

Podemos concluir que las fibras recicladas tienen la misma función que una fibra virgen, en la minimización de las fisuras generadas en los diferentes diseños ensayados. Además, se observa una leve diferencia de espesores de fisuras.

Respecto a la Resistencia a la compresión y flexión se comparó los diferentes diseños con las siguientes proporciones de 116 gr. Y 176 gr. de fibras, *ver tabla 20 y Anexo 9*.

Tabla 20 Comparación a la resistencia a la compresión

Diseño	Probetas	Días	Cantidad de Fibras	Fecha	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Fecha de ensayo
PATRÓN (210 kg/cm²)	1	7 DÍAS		22/06/2019	247,40	
	1	14 DÍAS	0 gr	26/06/2019	253,90	15/06/2019
	1	28 DÍAS		13/07/2019	291,99	
	1	7 DÍAS		22/06/2019	240,70	
	1	14 DÍAS	58 gr	26/06/2019	259,20	15/06/2019
	1	28 DÍAS		13/07/2019	298,08	
FIBRAS RECICLADAS (210 kg/cm²)	1	7 DÍAS		22/06/2019	245,30	
	1	14 DÍAS	116 gr	26/06/2019	248,10	15/06/2019
	1	28 DÍAS		13/07/2019	285,32	
	1	7 DÍAS		22/06/2019	238,70	
	1	14 DÍAS	176 gr	26/06/2019	251,50	15/06/2019
	1	28 DÍAS		13/07/2019	289,23	
FIBRAS VIRGENES (210 kg/cm²)	1	7 DÍAS		22/06/2019	210,10	
	1	14 DÍAS	116 gr	26/06/2019	243,00	15/06/2019
	1	28 DÍAS		13/07/2019	279,45	
	1	7 DÍAS		22/06/2019	223,20	15/06/2019
	1	14 DÍAS	176 gr	26/06/2019	249,70	
	1	28 DÍAS		13/07/2019	287,16	

Fuente Propia.

Se observa en la *Tabla 20*, que al agregar una proporción de 58,116, 176 gr de fibra reciclada y vírgen, se evidencia un aumento en la resistencia a la compresión. Además, con las fibras recicladas hay un mejor comportamiento respecto a las fibras vírgenes.

Tabla 21 Comparación a la resistencia a la flexión

Diseño	Probetas	Días	Cantidad de Fibras	Fecha	Resistencia a la flexión (kg/cm ²)	Fecha de ensayo
PATRÓN (210 kg/cm²)	1	7 DÍAS		22/06/2019	47,48	
	1	14 DÍAS	0 gr	26/06/2019	50,78	15/06/2019
	1	28 DÍAS		13/07/2019	58,40	
	1	7 DÍAS		22/06/2019	48,14	
	1	14 DÍAS	58 gr	26/06/2019	51,84	15/06/2019
	1	28 DÍAS		13/07/2019	59,62	
FIBRAS REICLADAS (210 kg/cm²)	1	7 DÍAS		22/06/2019	49,06	
	1	14 DÍAS	116 gr	26/06/2019	49,62	15/06/2019
	1	28 DÍAS		13/07/2019	57,06	
	1	7 DÍAS		22/06/2019	47,74	
	1	14 DÍAS	176 gr	26/06/2019	50,30	15/06/2019
	1	28 DÍAS		13/07/2019	57,85	
FIBRAS VIRGENES (210 kg/cm²)	1	7 DÍAS		22/06/2019	42,02	
	1	14 DÍAS	116 gr	26/06/2019	48,60	15/06/2019
	1	28 DÍAS		13/07/2019	55,89	
	1	7 DÍAS		22/06/2019	44,64	15/06/2019
	1	14 DÍAS	176 gr	26/06/2019	49,94	
	1	28 DÍAS		13/07/2019	57,46	

Fuente Propia

Se observa en la *Tabla 21*, que al agregar una proporción de 58,116, 176 gr de fibra reciclada y vírgen, se evidencia un aumento en la resistencia a la flexión. Además, con las fibras recicladas hay un mejor comportamiento respecto a las fibras vírgenes.

Por último, se analizó los costos por volumen calculado, para los diferentes diseños propuestos. Ver *Tabla 22 a la 26*.

Tabla 22 Costo concreto con 116 gr. de fibra reciclada

Costo concreto con 116 gr. fibras recicladas						
Volumen de concreto preparado:			0,044	m³		
Descripción	Base	kg	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
Cemento	351,79	15,48	bls	0,3642	18,64	6,79
Agua	197,00	8,67	m ³	0,0087	2,38	0,02
A. Grueso	900,60	39,63	bls	0,9907	4,66	4,62
A. Fino	860,51	37,86	bls	0,9466	5,25	4,97
A. plastificante			lt	0,0910	7,18	0,65
A. acelerante			lt	0,6192	7,39	4,58
Fibra. reciclada			kg	0,1160	11,90	1,38
Subtotal						27,16

Fuente propia

Tabla 23 Costo concreto con 116 gr. de fibras vírgenes

Costo concreto con 116 gr. de Fibras vírgenes						
Volumen de concreto preparado:			0,044	m3		
Descripción	Base	kg	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
Cemento	351,79	15,48	bls	0,3642	18,64	6,79
Agua	197,00	8,67	m3	0,0087	2,38	0,02
A. Grueso	900,60	39,63	bls	0,9907	4,66	4,62
A. Fino	860,51	37,86	bls	0,9466	5,25	4,97
A. plastificante			lt	0,0910	7,18	0,65
A. acelerante			lt	0,6192	7,39	4,58
Fibra. Virgen			kg	0,1160	14,28	1,66
Subtotal						27,48

Fuente propia

Comparación de precios entre 176 gr. de fibras recicladas y vírgenes.

Tabla 24 Costo concreto con 176 gr. de fibras recicladas

Costo concreto con 176 gr. de fibras recicladas						
Volumen de concreto preparado:			0,044	m3		
Descripción	Base	kg	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
Cemento	351,79	15,48	Bls	0,3642	18,64	6,79
Agua	197,00	8,67	m3	0,0087	2,38	0,02
A. Grueso	900,60	39,63	Bls	0,9907	4,66	4,62
A. Fino	860,51	37,86	Bls	0,9466	5,25	4,97
A. plastificante			Lt	0,0910	7,18	0,65
A. acelerante			Lt	0,6192	7,39	4,58
Fibra. Reciclada			Kg	0,1760	11,90	2,09
Subtotal						28,00

Fuente propia

Tabla 25 Costo concreto con 176 gr. de Fibras vírgenes

Costo concreto con 176 gr. de Fibras vírgenes						
Volumen de concreto preparado:			0,044	m3		
Descripción	Base	kg	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
Cemento	351,79	15,48	Bls	0,3642	18,64	6,79
Agua	197,00	8,67	m3	0,0087	2,38	0,02
A. Grueso	900,60	39,63	Bls	0,9907	4,66	4,62
A. Fino	860,51	37,86	Bls	0,9466	5,25	4,97
A. plastificante			Lt	0,0910	7,18	0,65
A. acelerante			Lt	0,6192	7,39	4,58
Fibra. Virgen			Kg	0,1760	14,28	2,51
Subtotal						28,49

Fuente propia

Tabla 26 Costo concreto Patrón

Costo concreto Patrón						
Volumen de concreto preparado:			0,044	m3		
Descripción	Base	kg	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
Cemento	351,79	15,48	Bls	0.3642	18.64	6.79
Agua	197,00	8,67	m3	0.0087	2.38	0.02
A. Grueso	900,60	39,63	Bls	0.9907	4.66	4.62
A. Fino	860,51	37,86	Bls	0.9466	5.25	4.97
A. plastificante			Lt	0.0910	7.18	0.65
A. acelerante			Lt	0.6192	7.39	4.58
Subtotal						25.53

Fuente propia

Se puede observar una disminución de costos al utilizar fibras recicladas versus las fibras vírgenes por el volumen ensayado. Si este análisis lo aplicamos en volúmenes de gran envergadura, tendríamos un ahorro significativo en costos al utilizar las fibras recicladas.

CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES

4.1 CONCLUSIONES

- ✓ El desarrollo de los ensayos de concreto con el diseño patrón convencional de 210 kg/cm² y con adición de fibras vírgenes y recicladas de 58, 116 y 176 gr, permitieron conocer el comportamiento de las fibras en las propiedades del concreto.
- ✓ Se observó en el análisis experimental del concreto con la adición de fibras de polipropileno recicladas, que, al aumentar la cantidad de fibras en el concreto, disminuye el tamaño de las fisuras por efecto de la retracción; en molde patrón se encontró fisuras de 0.50 mm de espesor, con las fibras recicladas se encontraron fisuras de 0.35 y 0.15 mm respecto a 0.25 y 0.10 mm de fibras vírgenes en cantidades de 116 y 176 gr respectivamente, observando un mejor control de fisuras. Por otro lado, se evidenció una disminución de la trabajabilidad y maleabilidad al realizar la prueba de asentamiento en el cono de abrahms.
- ✓ Se verificó la variación de las propiedades mecánicas del concreto de 210 Kg/cm² (compresión y flexión) con la adición de fibras sintéticas de polipropileno recicladas y vírgenes para un volumen de ($V= 0.044\text{m}^3$) En la prueba a la compresión a los 7 días el diseño patrón arrojó 237.4 Kg/cm², con 58 gr. de fibra recicladas se identificó un aumento de 240.7 Kg/cm²; con 116gr el resultado fue de 245.3 Kg/cm² y finalmente con 176 gr. fue de 238.7 Kg/cm². Por otro lado, con las fibras sintéticas de polipropileno virgen, se encontró resultados inferiores comparados con la muestra patrón; con 116 gr. de fibra virgen arrojó un valor de 210.1 Kg/cm² 7 con 176 gr. su resultado es de 223.2 Kg/cm².
- ✓ Finalmente, el análisis económico para usar fibras sintéticas de polipropileno reciclada en obras de infraestructura demuestra que son una alternativa técnica y económicamente viable, debido a que permite una disminución de costos por m³ en volúmenes importantes, ofreciendo ventajas para el constructor y ayudando en la disminución de la contaminación ambiental.

BIBLIOGRAFÍA

1. Gilardino A, Rojas J; Mattos H; Larrea G; Vázquez I (2017) Combining operational research and Life Cycle Assessment to optimize municipal solid waste collection in a district in Lima (Peru) doi: 10.1016/j.jclepro.2017.04.005
2. BoZhao Y, Dong Lv X, Gang Ni H (2018) Solvent-based separation and recycling of waste plastics: A review doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.06.095
3. Li, J., Zhang, Y., Liu, G., y Peng, X. (2017). Preparation and performance evaluation of an innovative pervious concrete pavement. *Construction and Building Materials*, 138, 479-485.
4. Nobili, A., Lanzoni, L., y Tarantino, A. (2013). Experimental investigation and monitoring of a polypropylene-based fiber reinforced concrete road pavement. *Construction and Building Materials*, 47, 888-895.
5. Chen, Y., Cen, G., y Cui, Y. (2018). Comparative study on the effect of synthetic fiber on the preparation and durability of airport pavement concrete. *Construction and Building Materials*, 184, 34-44.
6. Yin, S., Tuladhar, R., Sheehan, M; Combe, M., y Collister T. (2016). A life cycle assessment of recycled polypropylene fibre in concrete footpaths. *Journal Cleaner of Production*, 112, 2231-2242.
7. Yin, S., Tuladhar, R., Collister, T., Combe, M, Sivakugan, N, y Deng, Z. (2015). Post-cracking performance of recycled polypropylene fibre in concrete. *Construction and Building Materials*, 101, 1069-1077.
8. Yin, S., Tuladhara, R., Riella, J., Chung, D., Collister, T, Combe, M., y Sivakugan, N. (2016). Comparative evaluation of virgin and recycled polypropylene fibre reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 114, 134-141.

9. Mazzoli, A., Monosi, S., y Plescia E. (2015). Evaluation of the early-age-shrinkage of Fiber Reinforced Concrete (FRC) using image analysis methods. *Construction and Building Materials*, 101, 596-601.
10. Snoeck, D., Jensen, O; y Belie, N. (2015). The influence of superabsorbent polymers on the autogenous shrinkage properties of cement pastes with supplementary cementitious materials. *Cement and Concrete Research*, 74, 59-67.
11. ASTM C 1581/C 1581 M - 18 a, *Standard test method for determining age at cracking and induced tensile stress characteristics of mortar and concrete under restrained shrinkage*, 2018.
12. ASTM C 1579 - 13, *Standard Test Method for Evaluating Plastic Shrinkage Cracking of Restrained Fiber Reinforced Concrete (Using a Steel Form Insert)*, 2018.
13. NTP 339.088, Requisitos de calidad del agua para concreto
14. NTP 400.037 Agregados, Especificaciones normalizadas para agregados en concreto- 2014-12-30.
15. ASTM C33- Especificación normalizada de Agregados para Concreto.
16. OEFA, Organismo de evaluación y fiscalización ambiental.
17. ACI 224.1R-93, Causes, Evaluation and Repair of Reapproved 1998 Cracks in Concrete Structures.
18. RNE - NT CE- 010. Pavimentos urbanos.

ANEXOS



FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (ANEXO 1)

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO

TIPO DE AGREGADO: PIEDRA CHANCADA

NORMA: NTP 400.012

PROCEDENCIA: UPC

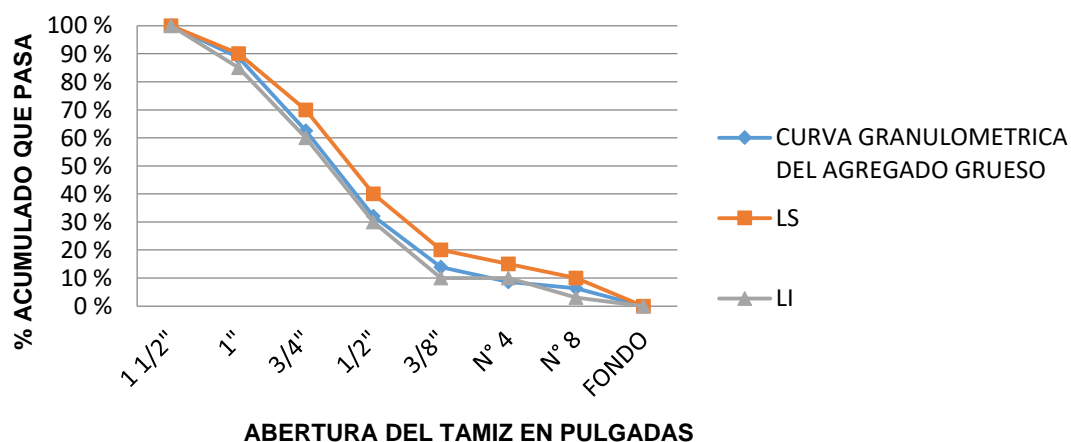
FECHA: 28/05/2019

HECHO POR: KELVIN CHIRINOS Y CARLOS CUERVO

FIRMA: TEC. CANSINO

Ensayo de Granulometría (AGREGADO UPC)				
Tamiz N°	Peso Retenido (g)	% Parcial Retenido	% Parcial Acumulado	% Acumulado que pasa
3"				
2 1/2"				
2				
1 1/2"	-	-	-	100
1"	2005.3	11.30	11.30	88.70
3/4"	4648.8	26.20	37.50	62.50
1/2"	5406	30.47	67.97	32.03
3/8"	3212.3	18.11	86.08	13.92
N° 4	943.6	5.32	91.40	8.60
N° 8	403.1	2.27	93.67	6.33
FONDO	1123.2	6.33	100.00	0.00
PESO INICIAL SECO	17742.3	Modulo de Fineza	8.09	

CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO GRUESO





FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (ANEXO 2)

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO

TIPO DE AGREGADO: PIEDRA CHANCADA

NORMA: NTP 400.012

PROCEDENCIA: UPC

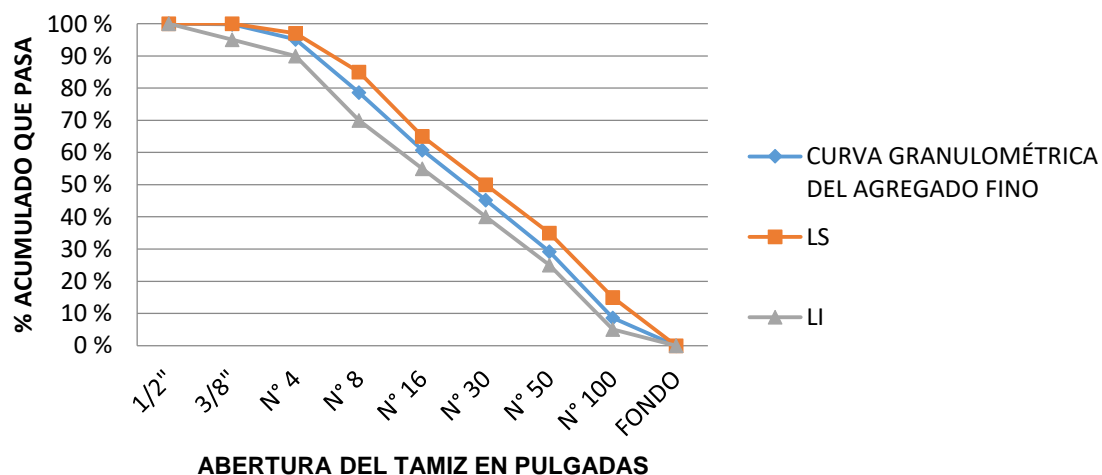
FECHA: 28/05/2019

HECHO POR: KELVIN CHIRINOS Y CARLOS CUERVO

FIRMA: TEC. CANSINO

Ensayo de Granulometria (AGREGADO UPC)				
Tamiz N°	Peso Retenido (g)	% Parcial Retenido	% Parcial Acumulado	% Acumulado que pasa
1/2"	-	.	-	100
3/8"	1.5	0.15	0.15	99.85
N° 4	45.9	4.71	4.86	95.14
N° 8	161.3	16.54	21.40	78.60
N° 16	174.1	17.85	39.26	60.74
N° 30	151.4	15.53	54.78	45.22
N° 50	155.8	15.98	70.76	29.24
N° 100	200.8	20.59	91.35	8.65
FONDO	84.3	8.65	100.00	0.00
PESO INICIAL SECO	975.1	MÓDULO DE FINEZA	2.83	

CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO FINO





FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (ANEXO 3)
PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO

TIPO DE AGREGADO: PIEDRA CHANCADA

NORMA: NTP 400.017

HECHO POR: KELVIN CHIRINOS Y CARLOS CUERVO

FECHA: 30/05/2019

FIRMA: TEC. CANSINOS

A) PESO UNITARIO SUELTO

B) PESO UNITARIO COMPACTADO

1) Peso Unitario Suelto (Datos)	Unidad	Muestra 1	Muestra 2
Peso de la muestra suelta + envase	kg	27,27	27,28
Peso del envase	kg	4,89	4,89
Peso de la muestra suelta	kg	22,38	22,39
Volumen del molde	m ³	0,0139	0,0139
Peso unitario suelto	kg / m ³	1610,07	1610,79
Promedio Peso Unitario Suelto	kg / m ³	1610	

2) Peso Unitario Compactado (Datos)		Muestra 1	Muestra 2
Peso de la muestra suelta + envase	kg	28,8	28,72
Peso del envase	kg	4,89	4,89
Peso de la muestra suelta	kg	23,91	23,83
Volumen del molde	m ³	0,0139	0,0139
Peso unitario suelto	kg / m ³	1720,14	1714,39
Promedio Peso Unitario Suelto	kg / m ³	1717	



FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (ANEXO 4)
PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO

TIPO DE AGREGADO: ARENA GRUESA

NORMA: NTP 400.017

PROCEDENCIA: UPC

FECHA: 30/05/2019

FIRMA: TEC. CANSINOS

A) PESO UNITARIO SUELTO

B) PESO UNITARIO COMPACTADO

1) Peso Unitario Suelto (Datos)		Muestra 1	Muestra 2
Peso de la muestra suelta + envase	kg	6,05	6,04
Peso del envase	kg	1,59	1,59
Peso de la muestra suelta	kg	4,46	4,45
Volumen del molde	m ³	0,0028	0,0028
Peso unitario suelto	kg / m ³	1592,86	1589,29
Promedio Peso Unitario Suelto	kg / m ³	1591	

2) Peso Unitario Compactado (Datos)		Muestra 1	Muestra 2
Peso de la muestra suelta + envase	kg	6,66	6,67
Peso del envase	kg	1,59	1,59
Peso de la muestra suelta	kg	5,07	5,08
Volumen del molde	m ³	0,0028	0,0028
Peso unitario suelto	kg / m ³	1810,71	1814,29
Promedio Peso Unitario Suelto	kg / m ³	1826	



FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (ANEXO 5)

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

TIPO DE AGREGADO: PIEDRA CHANCADA

MUESTRA: N° 1

PROCEDENCIA: UPC

NORMA: NTP 400.022

PESO DE LA MUESTRA: 4000g

FECHA: 30/05/2019

HECHO POR: KELVIN CHIRINOS Y CARLOS CUERVO

FIRMA: TEC. CANSINOS

	Unidad	Muestra 1
1) Peso de la muestra secada del horno (A)	gr	3974.9
2) Peso de la muestra S.S.S (B)	gr	4000
3) Peso de la muestra saturada dentro del agua +	gr	2511.8
4) Peso de la canastilla	gr	1464.9
5) Peso de la muestra saturada dentro del agua (C)	gr	2511.8
Detalle	Unidad	Muestra 1
Peso Específico de Masa ($P.E.M = A / B - C$)	gr	2.67
Peso Específico de Masa S.S.S ($P.E.M S.S.S$)	gr	2.69
Peso Específico Aparente ($P.E.A = A / (A - C)$)	gr	2.72
Porcentaje de Absorción (%) ($((B - A) / A \times 100)$)	gr	0.63



FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (ANEXO 6)

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

TIPO DE AGREGADO: ARENA GRUESA

MUESTRA: A y E

PROCEDENCIA: UPC

NORMA: NTP 400.022

PESO DE LA MUESTRA: 500g

FECHA: 30/05/2019

HECHO POR: KELVIN CHIRINOS Y CARLOS CUERVO

FIRMA: TEC. CANSINOS

	Unidad	Muestra A	Muestra E
1) Peso de la Arena S.S.S + peso Fiola + Peso Agua	gr	970.5	982.2
2) Peso de la arena S.S.S + peso fiola	gr	664.8	668.7
3) Peso del agua (w = 1 - 2)	gr	305.7	313.5
4) Peso de la arena secada al horno + peso Fiola	gr	659.4	664.7
5) Peso de la Fiola	gr	164.8	168.7
6) Peso de la Arena secada al horno (A = 4 - 5)	gr	494.6	496
7) Volumen de la Fiola (V = 500)	gr	500	500
TARA		155.8	147.5
Detalle	Unidad	Muestra A	Muestra E
Peso Especifico de Masa (P.E.M = A / B - C)	gr	2.55	2.66
Peso Especifico de Masa S.S.S (P.E.M S.S.S)	gr	2.57	2.68
Peso Especifico Aparente (P.E.A = A / (A - C))	gr	2.62	2.72
Porcentaje de Absorción (%) ((B -A) / A x 100)	gr	1.09	0.81



FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (ANEXO 7)
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO

TIPO DE AGREGADO: PIEDRA CHANCADA

MUESTRA:

PROCEDENCIA: UPC

FECHA: 30/05/2019

HECHO POR: KELVIN CHIRINOS Y CARLOS CUERVO

FIRMA: TEC. CANSINOS

Descripción	Cantidad	Unidad
Peso Húmedo	4000	gr
Peso Seco	3974	gr
Contenido de Agua	26	gr
		% C. HUMEDAD
		0.65 %



FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES (ANEXO 8)

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO

TIPO DE AGREGADO: ARENA FINA

MUESTRA:

PROCEDENCIA: UPC

FECHA: 30/05/2019

HECHO POR: KELVIN CHIRINOS Y CARLOS CUERVO

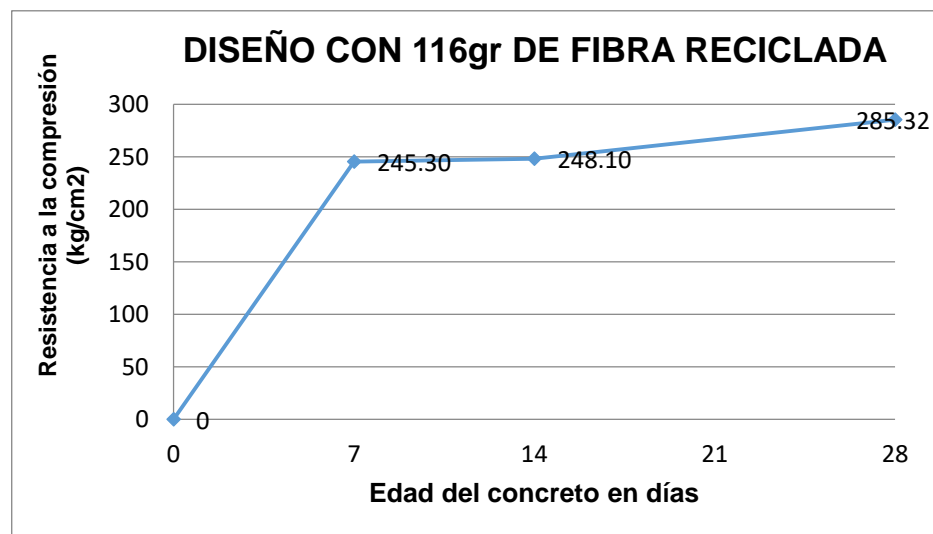
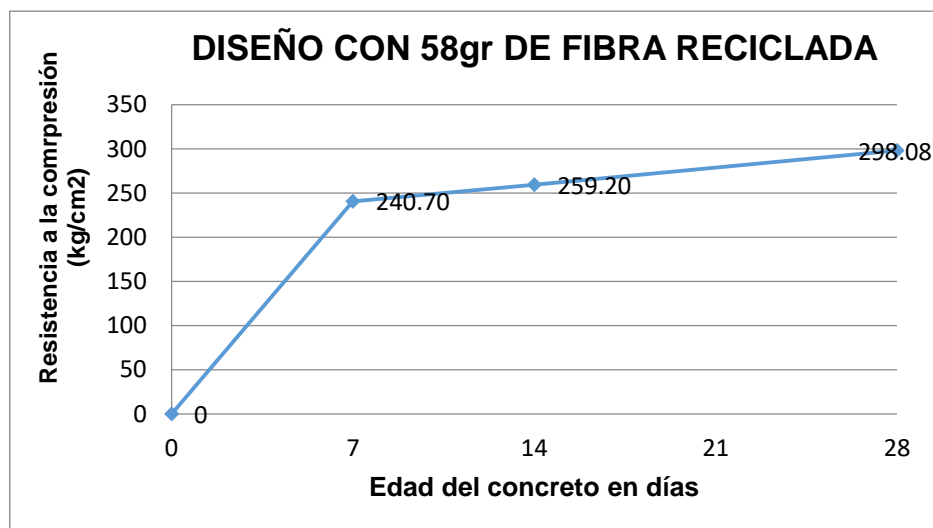
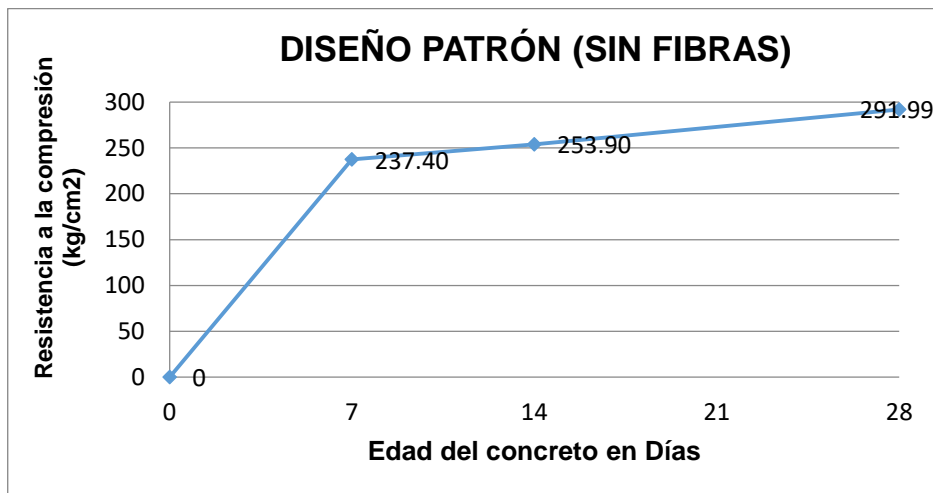
FIRMA: TEC. CANSINOS

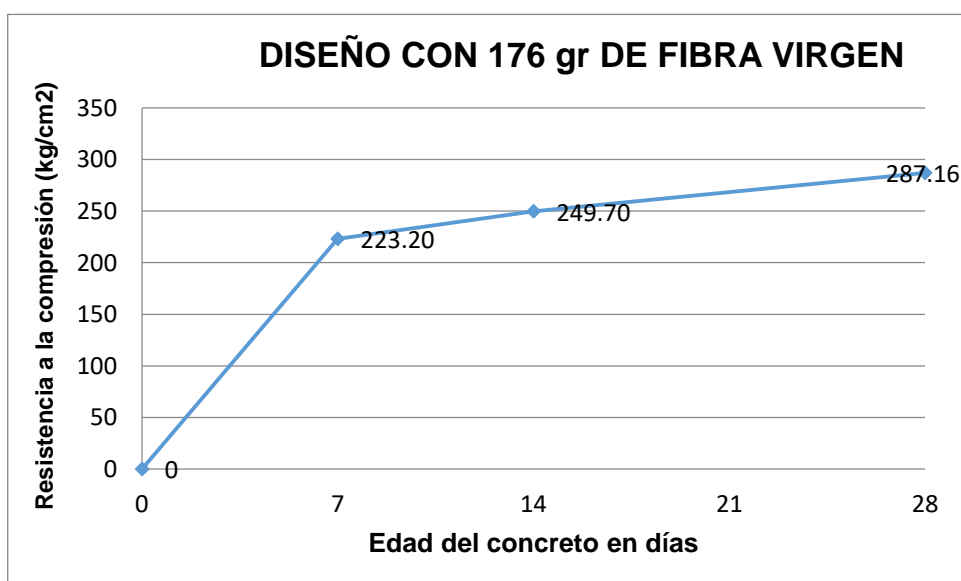
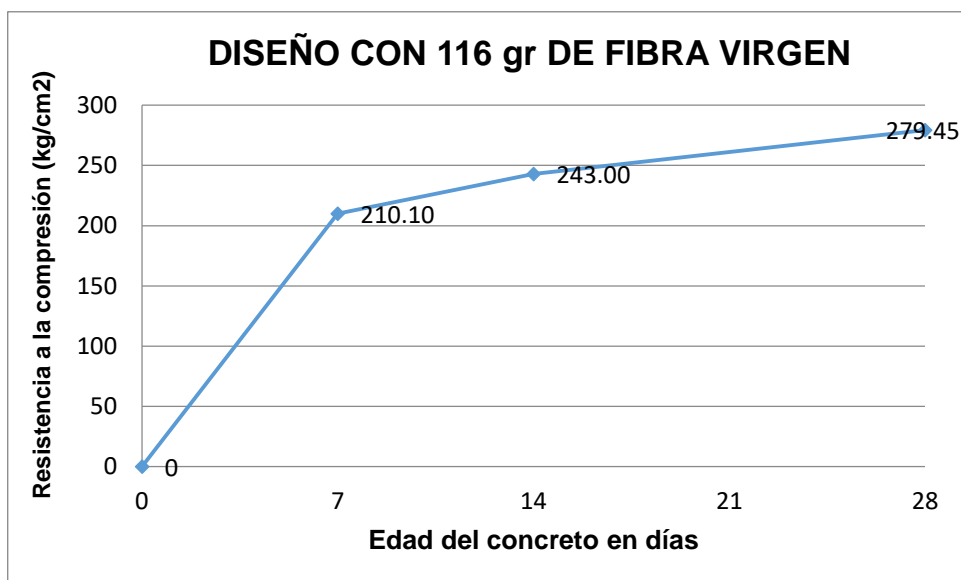
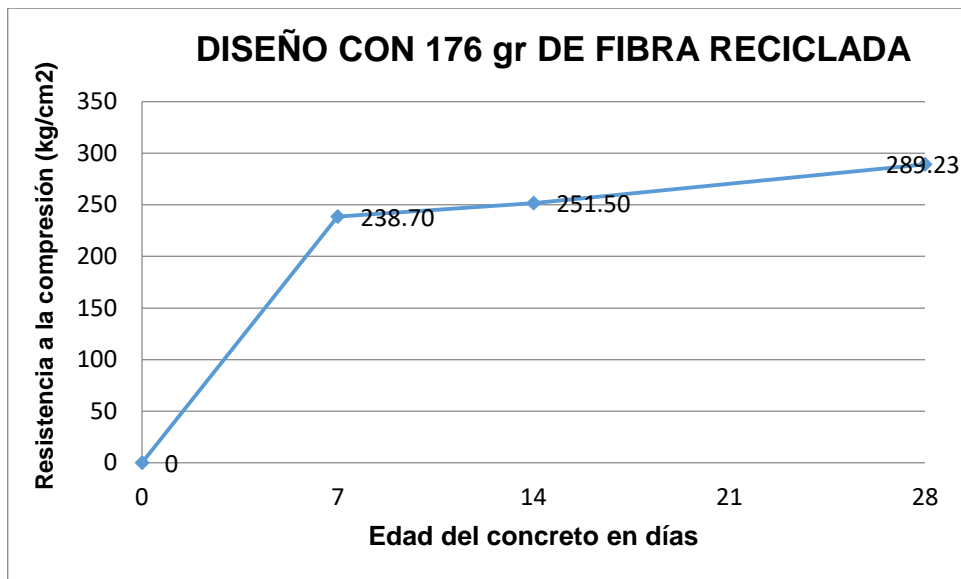
Contenido de Humedad (Arena Gruesa)			
Recipiente	Descripción	Cantidad	Unidad
(1 A)	Peso Húmedo	507.4	gr
(M-20)	Peso Seco	505.8	gr
	Contenido de Agua	1.6	gr
		% C. HUMEDAD	
M - 1		0.32	%
Recipiente	Descripción	Cantidad	Unidad
(1 A)	Peso Húmedo	496.8	gr
(M-20)	Peso Seco	495.1	gr
	Contenido de Agua	1.7	gr
		% C. HUMEDAD	
M - 2		0.34	%

Muestra	% Contenido de humedad
M - 1	0.32
M - 2	0.34
Promedio	0.33

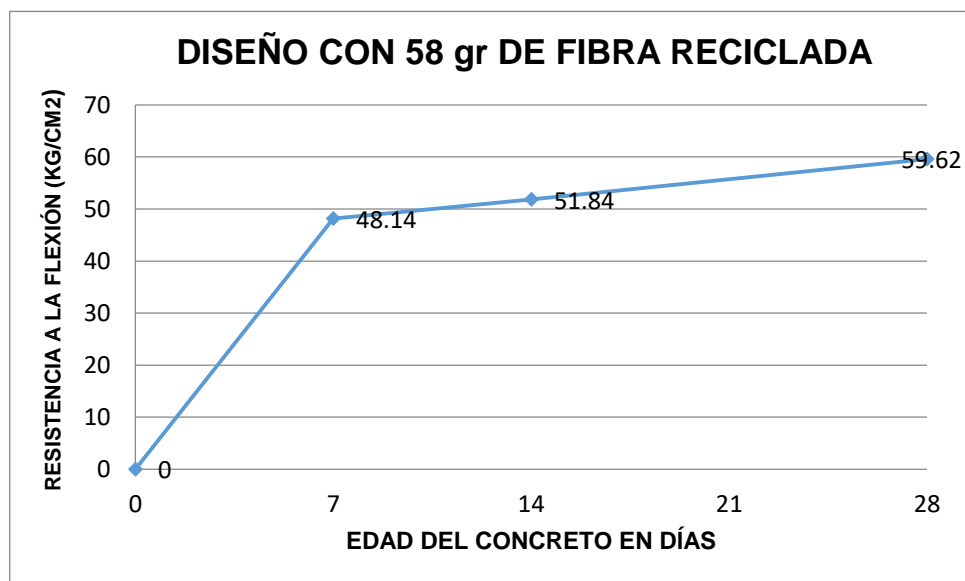
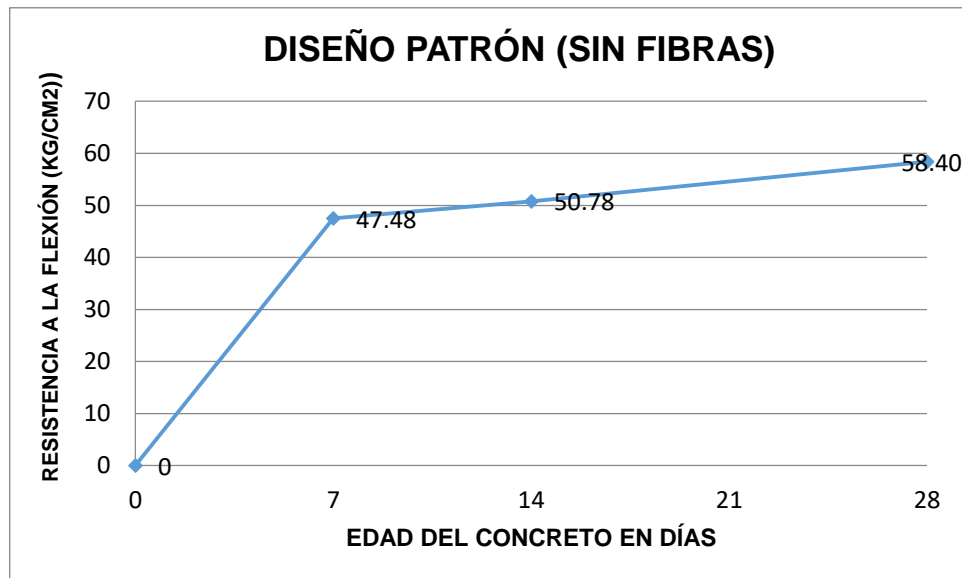
ANEXO 9

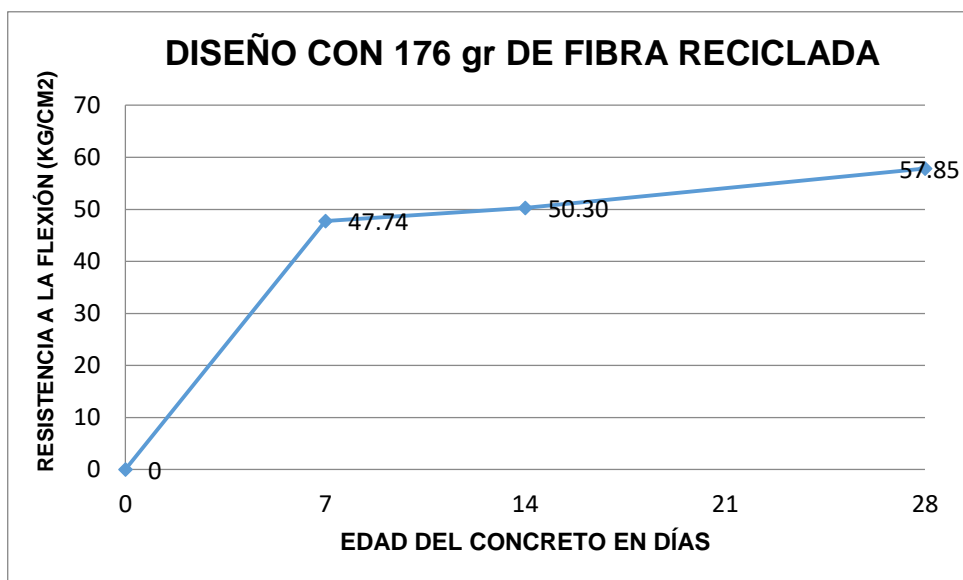
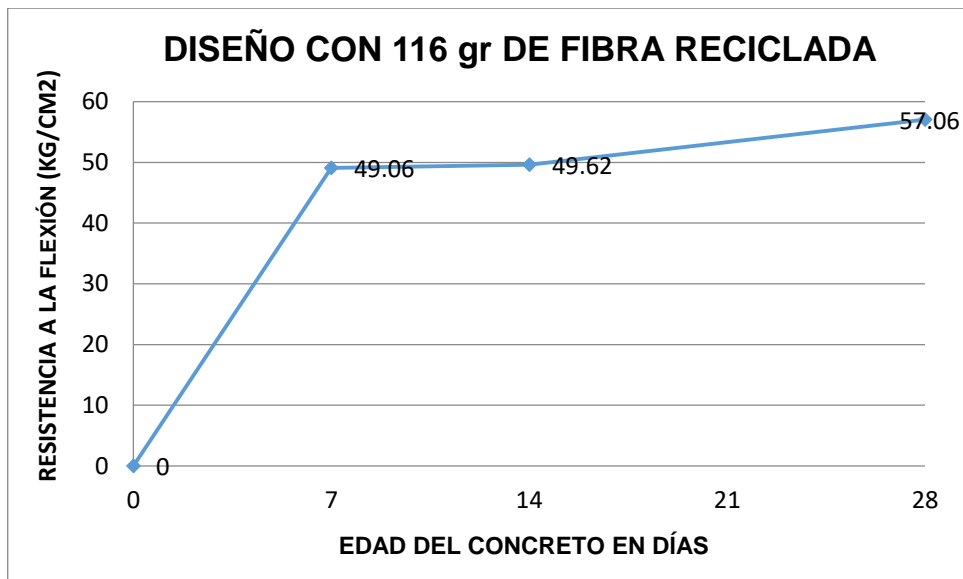
Gráficos a la Compresión

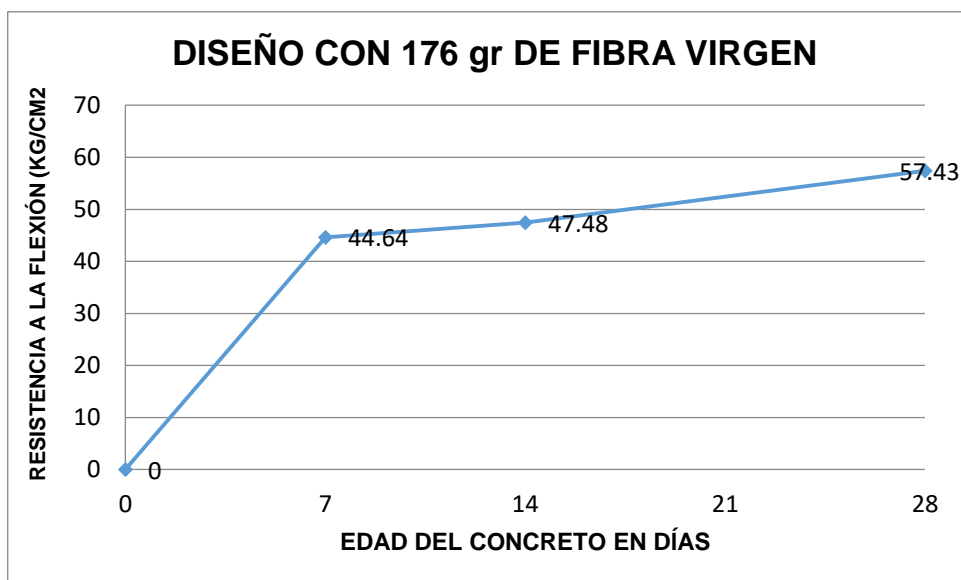
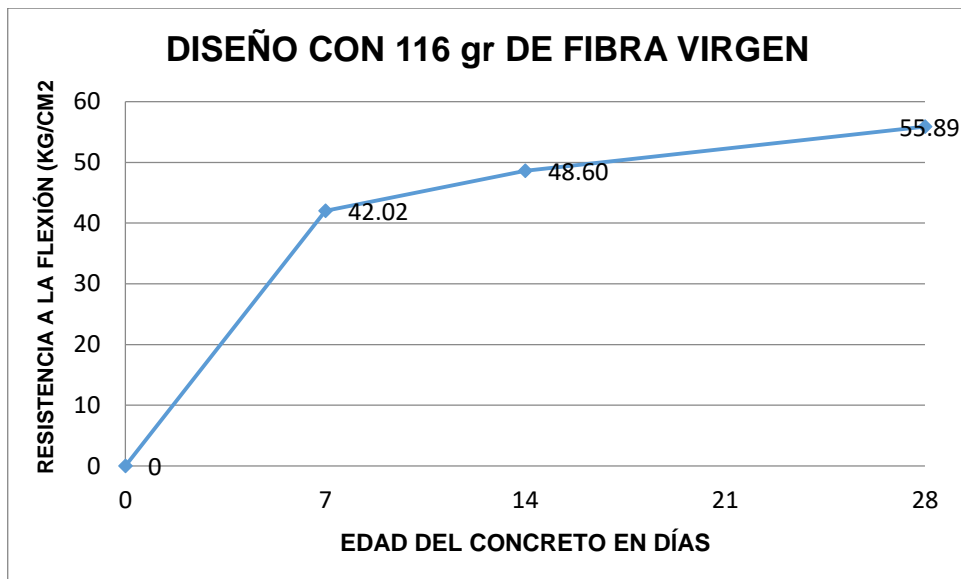




ANEXO 10
Gráficos a la Flexión







ANEXO 11

Fibras recicladas vs Fibras vírgenes

