



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA EN CONSTRUCCIONES

**Análisis de la incidencia de Fibras Plásticas Recicladas, en
Hormigón F'c 240 Kg/cm² sometido al Esfuerzo de Flexión**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:
INGENIERO CIVIL CON MENCIÓN EN GERENCIA DE CONSTRUCCIONES**

AUTORES:

DANIEL GONZALO GARCÍA GARCÍA.

FABIAN ANDRÉS ORTIZ PADILLA.

DIRECTOR:

ING. VLADIMIR CARRASCO CASTRO.

CUENCA – ECUADOR

2021

Nosotros, Daniel García con C.I. 010610601-6 y Fabian Ortiz con C.I. 010503769-1, declaramos que las ideas y criterios expuestos en el presente proyecto requerido para obtener el título de ingenieros civiles son de responsabilidad de los autores.

Daniel Gonzalo García García.

010610601-6

Fabian Andrés Ortiz Padilla.

010503769-1

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	1
CAPITULO I -GENERALIDADES	3
1. GENERALIDADES	4
1.1. Introducción	4
1.2. Problemática	5
1.3. Objetivos	5
1.3.1. General	5
1.3.2. Específicos	5
1.4. Conceptos	6
1.4.1. Hormigón Hidráulico f'c 240kg/cm ²	6
1.4.1.1. Materiales	7
1.4.1.1.1. Cemento Portland	7
1.4.1.1.2. Áridos	8
1.4.1.1.2.1. Áridos gruesos	8
1.4.1.1.2.2. Áridos finos	8
1.4.2. Plástico	8
1.4.2.1. Clasificación SPI (Sociedad de Industrias de Plástico)	8
1.4.2.2. Tipos	10
1.4.2.2.1.1. PET – Polietileno tereftalato	10
1.4.2.2.1.2. PE - Polietileno	10
1.4.2.2.1.3. PVC – Cloruro de polivinilo	12
1.4.2.2.1.4. PP – Polipropileno	13
1.4.2.2.1.5. PS - Poliestireno	14
1.4.2.2.1.6. O - Otros	14
1.4.2.3. Fibras industriales	15
1.4.2.3.1. SikaFiber.	15
1.4.2.3.2. SikaFiber® Force PP-48 / RAD-48s	16
1.4.2.3.3. SikaFiber® CHO 65/35 NB	16
1.4.3. Ensayo	17

1.4.3.1.	Flexión	17
1.4.3.1.1.	Moldes	17
1.4.3.1.2.	Mecánica del ensayo.	18
1.4.3.2.	Compresión.	19
1.4.3.2.1.	Moldes	19
1.4.3.2.2.	Mecánica del ensayo.	19
1.4.4.	Reciclaje de plástico	21
CAPITULO II - FIBRAS RECICLADAS		22
2.	FIBRAS RECICLADAS	23
2.1.	Obtención de Plástico.	23
2.2.	Procesamiento del Plástico.	24
2.2.1.	Cortado y separación de fibras plásticas	24
2.2.1.1.	Maqueta para cortado de plástico	24
2.2.1.2.	Cortado	27
2.2.1.2.1.	Selección y Limpieza	27
2.2.1.2.2.	Seccionado	27
2.2.2.	Estandarización	32
CAPITULO III – DISEÑO Y ELABORACIÓN DE MEZCLAS		34
3.	DISEÑOS Y ELABORACIÓN DE MEZCLAS	35
3.1.	Diseño de mezcla	35
3.1.1.	Hormigón f'c 240 kg/cm ²	35
3.1.1.1.	Datos Preliminares	35
3.1.1.2.	Asentamiento	36
3.1.1.3.	Valor promedio de resistencia a compresión (F'cr)	36
3.1.1.4.	Estimación de la cantidad de agua y aire	37
3.1.1.5.	Determinación de relación agua/cemento	38
3.1.1.6.	Determinación de contenido de agregado grueso	39
3.1.1.7.	Estimación de la cantidad de agregado fino	40
3.1.1.8.	Corrección de agregados por humedad	41
3.1.1.9.	Aporte de agua a la mezcla	42
3.1.1.10.	Dosificación propuesta	43

3.2.	Mezclas	44
3.2.1.	Mezcla patrón	44
3.2.2.	Inclusión de fibras plásticas.	44
3.2.2.1.	Tipo de plástico	44
3.2.2.2.	Tamaño de fibras plásticas	45
3.2.3.	Diseño del testigo para el ensayo de flexión.	46
3.2.4.	Elaboración de testigos para ensayo a flexión	48
3.2.5.	Elaboración de testigos para ensayo	49
3.2.6.	a compresión	49
3.3.	Curado	50
CAPITULO IV – ENSAYO DE TESTIGOS		52
4.	ENSAYO DE TESTIGOS	53
4.1.	Flexión.	53
4.1.1.	Estandarización de parámetros	53
4.1.2.	Resultados obtenidos	55
4.1.2.1.	Muestra Patrón	56
4.1.2.2.	Plástico tipo LDPE	57
4.1.2.3.	Plástico tipo HDPE	59
4.1.2.4.	Plástico tipo PET ancho 0.5 cm	61
4.1.2.5.	Plástico tipo PET ancho 0.2 cm	63
4.2.	Compresión	65
4.2.1.	Estandarización de parámetros	65
4.2.2.	Resultados obtenidos	65
CAPITULO V – RESULTADOS		66
5.	RESULTADOS	67
5.1.	Análisis de resultados	67
CAPÍTULO VI –CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		82
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	83
6.1.	Conclusiones	83
6.2.	Recomendaciones	87
7.	BIBLIOGRAFÍA	89

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1-1 CEMEX, Hormigón de hidráulico fresco.....	6
Fotografía 1-2 Redacción Arcus Global. (2016). Cemento Portland en saco.....	7
Fotografía 1-3 PET Recuperado: www.google.com	10
Fotografía 1-4 PE.....	11
Fotografía 1-5 HDPE.....	11
Fotografía 1-6 LDPE.....	12
Fotografía 1-7 PVC.....	13
Fotografía 1-8 PP.....	13
Fotografía 1-9 PS.....	14
Fotografía 1-10 OTROS.....	15
Fotografía 1-11 SikaFiber.....	15
Fotografía 1-12 SikaFiber® Force PP-48 / RAD-48s Recuperado: https://ecu.sika.com/content/dam/dms/ec01/z/sikafiber_force_pp-48rad-48s.pdf	16
Fotografía 1-13 SikaFiber® CHO 65/35 NB Recuperado: ikaFiber® CHO 65/35 NB ..	17
Fotografía 1-14 Ensayo a la flexión método de los tercios Recuperado: http://www.scielo.org.mx/pdf/iit/v14n3/v14n3a13.pdf	18
Fotografía 2-1 Botellas PET recuperadas.....	23
Fotografía 2-2 Tiras de LDPE recuperadas.....	23
Fotografía 2-3 Botellas HDPE recuperadas.....	24
Fotografía 2-4 Maqueta realizada.....	26
Fotografía 2-5 Cuchilla de estilete de la maqueta realizada.....	26
Fotografía 2-6 Cortado de base para colocarlo en la maqueta.....	27
Fotografía 2-7 Tira preparada para colocarlo en la maqueta.....	28
Fotografía 2-8 Alado de fibra plástica en la maqueta.....	29
Fotografía 2-9 Fibra plástica en la maqueta.....	29
Fotografía 2-10 Fibra plástica obtenida.....	30
Fotografía 2-11 Fibra plástica obtenida.....	30
Fotografía 2-12 Estandarización de Fibra plástica obtenida.....	31

Fotografía 2-13 Cortado de Fibra plástica obtenida.....	31
Fotografía 2-14 Estandarización de fibras para inclusión en mezcla de hormigón. Fuente: Autores	32
Fotografía 2-15 Fibras plásticas HDPE para inclusión en mezcla de hormigón.	33
Fotografía 2-16 Fibras plásticas HDPE sin cortar para inclusión en mezcla de hormigón.	33
Fotografía 3-1 Inclusión de Fibras PET dentro de tolva con hormigón fresco.....	46
Fotografía 3-2 Mezcla de hormigón fresco con fibras plásticas.	46
Fotografía 3-3 Vista en planta del Encofrado.	47
Fotografía 3-4 Vista lateral del Encofrado.....	48
Fotografía 3-5 Muestras alisadas.	49
Fotografía 3-6 Compactación manual.....	49
Fotografía 3-7 Curado primera 24 horas.....	50
Fotografía 3-8 Curado durante 28 Días.....	51
Fotografía 4-1 Fijadores para ensayo a flexion.....	53
Fotografía 4-2 Ensamble de acoples en una muestra.....	54
Fotografía 4-3 Ensamble de acoples en una muestra.....	54
Fotografía 4-4 Ensamblaje dentro de la prensa.....	55
Fotografía 5-1 Fisura Viga HDPE 5*0.5.	70
Fotografía 5-2 Fisura Viga HDPE 10*0.5.	70
Fotografía 5-3 Elemento con fibras HDPE abierto por la mitad.....	70
Fotografía 5-4 Fisura Viga LDPE 5*0.5.....	72
Fotografía 5-5 Fisura Viga LDPE 10*0.5.....	73
Fotografía 5-6 Elemento con fibras LDPE abierto por la mitad.....	73
Fotografía 5-7 Fisura Viga PET 10*0.5.....	75
Fotografía 5-8 Fisura Viga PET 5*0.5.....	76
Fotografía 5-9 Elemento con fibras PET abierto por la mitad.....	76
Fotografía 5-10 Fisura Viga PET 5*0.2.....	78
Fotografía 5-11 Fisura Viga PET 10*0.2.....	79
Fotografía 5-12 Elemento con fibras PET ancho 2mm abierto por la mitad.....	79
Fotografía 5-13 Resistencia presentada por fibras PET ancho 2 mm.....	80

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1 Esquema de maqueta para cortar plástico Fuente: Autores	25
Ilustración 2 Esquema del molde para elaborar muestras para el ensayo a flexión. Fuente: Autores	47

ÍNDICE DE GRAFICAS

Gráfica 4-1 Resultado obtenidos de las Muestras Patrón, en el ensayo a Flexión.....	56
Gráfica 4-2 Resultado obtenidos de las Muestras con plástico LDPE de 10*0.5cm, en el ensayo a Flexión.....	57
Gráfica 4-3 Resultado obtenidos de las Muestras con plástico LDPE de 5*0.5cm, en el ensayo a Flexión.....	58
Gráfica 4-4 Resultado obtenidos de las Muestras con plástico HDPE de 10*0.5cm, en el ensayo a Flexión.....	59
Gráfica 4-5 Resultado obtenidos de las Muestras con plástico HDPE de 5*0.5cm, en el ensayo a Flexión.....	60
Gráfica 4-6 Resultado obtenidos de las Muestras con plástico PET de 10*0.5cm, en el ensayo a Flexión.....	61
Gráfica 4-7 Resultado obtenidos de las Muestras con plástico PET de 5*0.5cm, en el ensayo a Flexión.....	62
Gráfica 4-8 Resultado obtenidos de las Muestras con plástico PET de 10*0.2cm, en el ensayo a Flexión.....	63
Gráfica 4-9 Resultado obtenidos de las Muestras con plástico PET de 5*0.2cm, en el ensayo a Flexión.....	64
Gráfica 5-1 Representacion grafica del promedio de cada uno de los grupos de ensayo.....	67
Gráfica 5-2 Comparación grafica del promedio del grupo de ensayo HDPE 10*.05cm contra el grupo de ensayo muestra patron.....	68
Gráfica 5-3 Comparación grafica del promedio del grupo de ensayo HDPE 5*.05cm contra el grupo de ensayo muestra patron.....	69

Gráfica 5-4 Comparación grafica del promedio del grupo de ensayo LDPE 10*.05cm contra el grupo de ensayo muestra patron.....	71
Gráfica 5-5 Comparación grafica del promedio del grupo de ensayo LDPE 5*.05cm contra el grupo de ensayo muestra patron.....	72
Gráfica 5-6 Comparación grafica del promedio del grupo de ensayo PET 5*.05cm contra el grupo de ensayo muestra patron.....	74
Gráfica 5-7 Comparación grafica del promedio del grupo de ensayo PET 10*.05cm contra el grupo de ensayo muestra patron.....	75
Gráfica 5-8 Comparación grafica del promedio del grupo de ensayo PET 10*.02cm contra el grupo de ensayo muestra patron.....	77
Gráfica 5-9 Comparación grafica del promedio del grupo de ensayo PET 5*.02cm contra el grupo de ensayo muestra patron.....	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 ASTM D7611 (2020) Clasificación de Plásticos según SPI	9
Tabla 1-2 ASTM C 192 (2006), Determinacion del número de capas.	19
Tabla 1-3 ASTM C 192 (2006), Determinacion de número de inserciones de vibrador mecánico para cada capa.	20
Tabla 1-4 ASTM C 192 (2006), Determinación de número de inserciones de la varilla para cada capa.	20
Tabla 3-1 Pesos específicos.	35
Tabla 3-2 ACI. Determinación de asentamiento.....	36
Tabla 3-3 ACI. Estimación de la cantidad de Agua y Aire.....	37
Tabla 3-4 ACI. Determinación de Relación Agua - Cemento.	38
Tabla 3-5 ACI. Determinación de Contenido de Agregado Grueso.	39
Tabla 3-6 Volúmenes para un m ³	40
Tabla 3-7 Corrección por humedad.	41
Tabla 3-8 Aporte de agua.....	42
Tabla 3-9 Dosificación para un m ³	43
Tabla 3-10 Volúmenes acoplados para necesidades del ensayo.	43
Tabla 3-11 Grupos de muestras para elaborar ensayos.	45

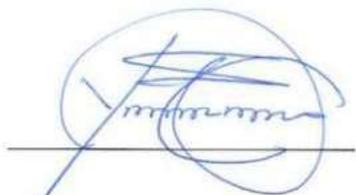
Tabla 4-1 Resultado obtenidos de las Muestras Patrón, en el ensayo a Flexión.....	56
Tabla 4-2 Resultado obtenidos de las Muestras con plástico LDPE de 10*0.5cm, en el ensayo a Flexión.....	57
Tabla 4-3 Resultado obtenidos de las Muestras con plástico LDPE de 5*0.5cm, en el ensayo a Flexión.....	58
Tabla 4-4 Resultado obtenidos de las Muestras con plástico HDPE de 10*0.5cm, en el ensayo a Flexión.....	59
Tabla 4-5 Resultado obtenidos de las Muestras con plástico HDPE de 5*0.5cm, en el ensayo a Flexión.....	60
Tabla 4-6 Resultado obtenidos de las Muestras con plástico PET de 10*0.5cm, en el ensayo a Flexión.....	61
Tabla 4-7 Resultado obtenidos de las Muestras con plástico PET de 5*0.5cm, en el ensayo a Flexión.....	62
Tabla 4-8 Resultado obtenidos de las Muestras con plástico PET de 10*0.2cm, en el ensayo a Flexión.....	63
Tabla 4-9 Resultado obtenidos de las Muestras con plástico PET de 5*0.2cm, en el ensayo a Flexión.....	64
Tabla 4-10 Resultado obtenidos de las muestras en el ensayo a Compresión Simple.	65
Tabla 5-1 Resultados de Incremento de fuerza de los elementos del experimento	81
Tabla 5-2 Resultados de Incremento de deformación de los elementos del experimento	81

Análisis de la incidencia de Fibras Plásticas Recicladas, en Hormigón F'c 240 kg/cm² sometido al Esfuerzo de Flexión

RESUMEN

El presente proyecto determina la influencia de fibras plásticas recicladas PET, HDPE, LDPE con variaciones de dos tamaños en elementos de hormigón simple $f'c$ 240 kg/cm² sometidos a ensayos de flexión, iniciando con una investigación de la clasificación y disponibilidad tanto de tipos de plásticos como de fibras industriales con usos similares. Las fibras fueron obtenidas mediante una maqueta manual, los elementos de hormigón fueron diseñados en base a la metodología ACI y el ensayo a flexión en base a metodología ASTM C1609. Los resultados del experimento mostraron que las fibras tipo PET de tamaños 10*0.5 cm y 10*0.2 cm generaron aporte a la resistencia y deformación máxima en el esfuerzo de flexión, con respecto a la muestra patrón.

Palabras Clave: Hormigón Simple, Fibras plásticas, PET, LDPE, HDPE.



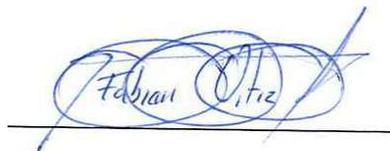
Ing. Vladimir Carrasco.
Director del trabajo de Titulación



Ing. José Vásquez.
Director de escuela



Daniel Garcia.
Autor



Fabian Ortiz.
Autor

Incidence Analysis of Recycled Plastic Fibers, in Concrete Samples f'c 240 kg / cm² subjected to Bending Stress

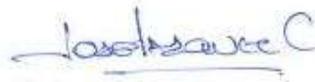
ABSTRACT

This project determines the influence of plastic fibers (PET, HDPE, LDPE) with variations of two sizes in f'c 240 kg/cm² concrete elements subjected to bending tests, starting with an investigation of classification and availability of plastics and industrial fibers with similar uses. The fibers were obtained with a manual model, meanwhile, concrete elements were designed based on ACI methodology and the bending essay based on ASTM C1609 methodology. The results of the experiment showed that PET fibers with 10*05 cm and 10*0.2 cm sizes contributed both in maximum load and deformation in the bending test with respect to the standard sample.

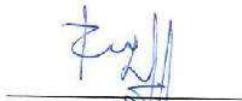
Keywords: concrete, plastic fibers, PET, LDPE, HDPE.



Ing. Vladimir Carrasco.
Degree Work Director



Ing. José Vasquez.
School Director



Daniel Garcia.
Author

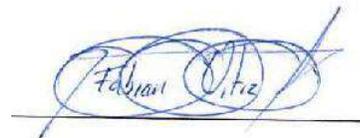


Fabian Ortiz.
Author

Translated by



Daniel García



Fabián Ortiz

CAPITULO I - GENERALIDADES

1. GENERALIDADES

1.1. Introducción

En la actualidad el reciclaje de plástico es un tema en auge, donde se pretende conseguir la mayor cantidad de usos posibles para de este modo aliviar la carga de desechos que se emiten en el planeta; la industria de la construcción no se ha quedado atrás y continuamente se encuentra en la búsqueda de usos no únicamente estéticos sino también funcionales para el plástico reciclado.

A priori, se conoce que el hormigón simple posee buenas prestaciones cuando se ve sometido a cargas de compresión no así cuando se encuentra sometido a cargas de tracción. Debido a que la flexión es una combinación de esfuerzos de compresión y tracción, cuando un elemento se ve sometido a esta, su capacidad resistente se ve afectada.

Para solventar la deficiencia del hormigón simple existe comúnmente refuerzos longitudinales y transversales de varillas de acero, pero en la actualidad se han desarrollado nuevas técnicas de refuerzo con diferentes materiales siendo así fibras de carbono, fibras de vidrio, virutas de acero y fibras plásticas industriales. Analizando las técnicas actuales para el refuerzo de elementos, se plantea buscar el aporte que podría brindar fibras de plástico recicladas al hormigón simple.

Para demostrar el aporte de las fibras plásticas, se planteará un experimento que consiste en la comparación de tres tipos de fibras plásticas recicladas con dos variaciones en sus longitudes con respecto a una muestra patrón de hormigón simple sin fibras, tratando de estandarizar el resto de variables del experimento.

Para la elaboración de los elementos, se estandarizará las medidas del elemento así como la dosificación de los materiales del hormigón simple a través de un diseño del mismo para una resistencia a la compresión f_c 240 kg/cm², buscando así que las variaciones de los resultados en el ensayo a flexión entre elementos dependa únicamente de las fibras plásticas recicladas que incluyan los mismos.

1.2. Problemática

El creciente consumo de plásticos a nivel mundial y local ha causado que exista una sobredemanda en todo tipo de vertederos, lo cual genera un oneroso gasto en los presupuestos municipales. De tal manera, con este proyecto busca la reutilización del plástico de forma adecuada y sostenible que no contamine el medio ambiente, integrando fibras de plástico reutilizado dentro de mezclas de hormigón para mejorar las características del mismo, adicionalmente ayudando así a disminuir la carga de residuos plásticos que llegan a los vertederos.

1.3. Objetivos

1.3.1. General

Determinar el tipo y tamaño de fibras plásticas recicladas, que al ser incluidas en una mezcla de hormigón $f'c$ 240 kg/cm², mejore la respuesta del mismo al ensayo de determinación del esfuerzo a flexión.

1.3.2. Específicos

- Investigar sobre las mezclas de hormigón y la inclusión de fibras plásticas.
- Identificar los tipos de plástico más usados en el medio local.
- Realizar el diseño de hormigón $f'c$ 240 kg/cm².
- Determinar la dosificación de fibras plásticas que se debe incluir en la mezcla de hormigón según recomendaciones de fabricantes de fibras industriales y documentos donde se experimente con fibras recicladas.
- Comparar los resultados que proporcionen los tres tipos de plásticos reciclados y sus dos diferentes tamaños e identificar el que mejor haya respondido al ensayo de determinación del esfuerzo a flexión.

1.4. Conceptos

1.4.1. Hormigón Hidráulico $f'c$ 240kg/cm²

Según Acevedo (1985, p.206 - p.207), el hormigón hidráulico es una roca artificial procedente del endurecimiento de la mezcla de aglomerante hidráulico (Ejemplo: Cemento Portland), áridos finos y gruesos con agua, que se encuentren correctamente seleccionados y dosificados. Adicionalmente, dicha mezcla puede contener un cuarto elemento llamado aditivo que modifica determinadas propiedades del hormigón hidráulico.



Fotografía 1-1 CEMEX, Hormigón de hidráulico fresco.
Recuperado de: <http://cemexparaindustriales.com/abc-del-mezclado/>

Para realizar un correcto mezclado de los materiales que forman el hormigón existe un procedimiento normado que garantiza una mezcla homogénea. En este trabajo de tesis, la mezcla del hormigón hidráulico se realizó mediante una concreteira mecánica. Para el procedimiento de mezclado se utilizó la metodología proporcionada por la (Universidad Centroamericana José Simeón Cañas de El Salvador, 2006) que se detalla a continuación:

Nota: El tambor debe dar de 18 a 250 revoluciones por minuto.

1. Separar y pesar las cantidades de los materiales según la dosificación que se vaya a emplear.

2. Engrasar y colocar en un lugar adecuado los moldes que serán utilizados.
3. Con la concretera apagada, agregar el árido grueso y parte del agua.
4. Encender la concretera y colocar el cemento portland, agregado fino y el sobrante del agua.
5. Contabilizar tres minutos de mezclado de los materiales, posteriormente se deja reposar tres minutos y finalmente un periodo de mezclado de dos minutos.

1.4.1.1. Materiales

1.4.1.1.1. Cemento Portland

El Cemento Portland es un producto que proviene de la fusión química a altas temperaturas entre materiales arcillosos y calcáreos (Sílice, cal, alúmina), su nombre “Portland” se debe a la semejanza entre este producto y las canteras de la isla con el mismo nombre ubicadas en Inglaterra; se obtiene mediante el método desarrollado por el inglés Joseph Aspdin en el año de 1824. (Gómez, 2008)



Fotografía 1-2 Redacción Arcus Global. (2016). Cemento Portland en saco.
Recuperado de: https://www.ecured.cu/Cemento_Portland#/media/File:Cemento-portland-300x199.jpg

1.4.1.1.2. Áridos

González, (2008, p.12) en su libro “*MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN*”, dice que los áridos o también denominados agregados, son fragmentos pétreos procedentes de la desintegración de rocas naturales. Los áridos pueden clasificarse según: tamaño, procedencia, naturaleza química, forma de obtención.

Las propiedades que poseen los áridos son: resistencia mecánica (resistencia a la compresión e índice de triturabilidad), módulo de elasticidad, resistencia a la abrasión, adherencia, porosidad, forma de las partículas, cambios de volumen, masa volumétrica, granulometría, sustancias perjudiciales. (Betancourt, 2017)

1.4.1.1.2.1. Áridos gruesos

“El agregado grueso se define como las partículas mayores de 4.75 mm, es decir, el retenido en la malla no. 4.” (González, 2008, p.12).

1.4.1.1.2.2. Áridos finos

“Los agregados finos, denominados como arenas, se definen como las partículas de agregado menores de 4.75 mm, pero mayores de 75 micras, o también como la porción de material que pasa la malla no. 4 y es retenido en la malla no. 200” (González, 2008, p. 12)

1.4.2. Plástico

1.4.2.1. Clasificación SPI (Sociedad de Industrias de Plástico)

A través de una estandarización mundial, el sistema de codificación de SPI (Sociedad de Industrias de Plástico) se convirtió en un medio para categorizar los residuos de plástico

usados diariamente, en todo ámbito. De lo cual se detalla la siguiente figura obtenida de (ASTM D7611, 2020):

Tabla 1-1 ASTM D7611 (2020) Clasificación de Plásticos según SPI

Resin Identification Number	Resin	Resin Identification Code –Option A	Resin Identification Code –Option B
1	Poly(ethylene terephthalate)	 PETE	 PET
2	High density polyethylene	 HDPE	 PE-HD
3	Poly(vinyl chloride)	 V	 PVC
4	Low density polyethylene	 LDPE	 PE-LD
5	Polypropylene	 PP	 PP
6	Polystyrene	 PS	 PS
7	Other resins	 OTHER	 O

Recuperado de: ASTM D7611

1.4.2.2. Tipos

1.4.2.2.1.1. PET – Polietileno tereftalato

(Smith, 1999), explica que el plástico PET, es un polímero formado por cadenas largas de moléculas en la cuales predominan la repetición de unidades de carbono, oxígeno e hidrógeno, de tal manera constituyéndose en un poliéster claro, fuerte pero liviano; dando así su uso principal que es envase contenedor para agua, aceites, alimentos, etc. El propósito de su creación fue su uso en la elaboración fibras sintéticas pero dado su versatilidad a la técnica de soplado, ahora se utiliza en mayor parte para crear botellas.



Fotografía 1-3 PET
Recuperado: www.google.com

1.4.2.2.1.2. PE - Polietileno

Para (Smith, 1999), el polietileno es un producto termoplástico que puede variar en su color desde transparente a blanco y que por lo general se obtiene en láminas delgadas, además que tiene la capacidad de absorber colorantes para obtener infinidad de gamas.

Como sus características principales se puede enumerar:

- Resistencia a la temperatura ambiente y bajas temperaturas.
- Flexibilidad alta incluso en ambientes de baja temperatura.
- Capacidad anticorrosiva y aislante.
- No aporta características de olor o sabor.
- Impide en gran medida el paso de vapor de agua.



Fotografía 1-4 PE
Recuperado: www.google.com

1.4.2.2.1.2.1. HDPE – Polietileno de alta densidad

Se elabora en condiciones de temperatura baja (60-200 C) y presión baja (1 - 100 atm); su estructura es de cadenas lineales lo que beneficia en la transparencia (80-95%) y resistencia. Su densidad específica se ubica entre 0.94 - 097 gr/cm³. Principalmente su uso se da para envases de uso domésticos, alimentos y químicos, además de juguetes, contenedores varios, etc. (Smith, 1999).



Fotografía 1-5 HDPE
Recuperado: www.google.com

1.4.2.2.1.2.2. LDPE – Polietileno de baja densidad

Su elaboración se da en condiciones de temperatura exacta de 250 C y presión muy elevada (1200 - 1500 atm); su estructura es de cadenas ramificada, lo que afecta directamente a la transparencia y resistencia, disminuyéndola de forma sustancial. Su densidad específica se ubica entre 0.94 - 0.97 gr/cm³. Principalmente su uso se da en fundas para usos varios, además de láminas plásticas para uso en general. (Smith, 1999).



Fotografía 1-6 LDPE
Recuperado: www.google.com

1.4.2.2.1.3. PVC – Cloruro de polivinilo

(Smith, 1999), explica que el plástico PVC es una combinación química de carbono, hidrogeno y cloro; por lo cual su elaboración viene derivada del petróleo y el cloruro de sodio (sal común) donde su vida útil va de 15 a 100 años. La industria de la construcción abarca el 55% del total de la producción a nivel mundial de plástico PVC. Entre sus características principales se puede mencionar:

- Peso liviano.
- Aislante Térmico – Eléctrico – Acústico.
- Inocuidad.
- Resistente al fuego, no genera llama.
- Reciclable
- Económico en su fabricación (Relación calidad – precio).



Fotografía 1-7 PVC
Recuperado: www.google.com

1.4.2.2.1.4. PP – Polipropileno

Se obtiene a través de un proceso químico de polimerización del propileno. Tiene una resistencia aceptable en sus características físicas a la humedad y al calor, una densidad de (0.90 – 0.91 gr/cm³), además de ser aislante, presenta una flexibilidad alta por lo que es recomendable en productos que requiere la articulación. Su uso principal es en moldeados por inyección en artículos de hogar y electrodomésticos. (Smith, 1999).



Fotografía 1-8 PP
Recuperado: www.google.com

1.4.2.2.1.5. PS - Poliestireno

Es un producto transparente, sin olor ni sabor, pero posee una estructura muy quebradiza; pero dentro de los derivados de este plástico esta la mezcla con goma que lo hace resistente a impactos o con aditivos que lo pueden hacer expandible. Mantiene sus medidas de manera muy estable, no se contrae en el moldeado y en su manejo se puede realizar relativamente a bajo costo. (Smith, 1999).



Fotografía 1-9 PS
Recuperado: www.google.com

1.4.2.2.1.6. O - Otros

Según explica, (Smith, 1999), existen muchos plásticos no mencionados directamente dentro de la estandarización planteada por las SPI, entre ellos tenemos:

- PAN (Poliacrilonitrilo)
- SAN (Estireno – Acrilonitrilo)
- ABS (Acrilonitrilo – Butadieno – Estireno)
- PMMA (Metacrilato de polimetilo)
- Fluoroplasticos
- PC (Policarbonato)
- CA (Acetato de celulosa)



Fotografía 1-10 OTROS
Recuperado: www.google.com

1.4.2.3. Fibras industriales

1.4.2.3.1. SikaFiber.

“SikaFiber es una fibra plástica que reduce el fisuramiento del hormigón durante la contracción en estado plástico, previo al fraguado. Durante la mezcla del hormigón o del mortero, SikaFiber se distribuye aleatoriamente formando una red tridimensional muy uniforme” (SIKA, 2019b)



Fotografía 1-11 SikaFiber
Recuperado:
<https://ecu.sika.com/es/construccion/concreto/fibras-para-concreto/sikafiber.html>

1.4.2.3.2. SikaFiber® Force PP-48 / RAD-48s

“SikaFiber Force PP-48 es una macro fibra sintética estructural que otorga un óptimo comportamiento del hormigón en ambientes altamente corrosivos. Es apropiada para hormigones proyectados, prefabricados y losas sobre terreno, entre otras aplicaciones.” (SIKA, 2019a)



Fotografía 1-12 SikaFiber® Force PP-48 / RAD-48s Recuperado:
https://ecu.sika.com/content/dam/dms/ec01/z/sikafiber_force_pp-48rad-48s.pdf

1.4.2.3.3. SikaFiber® CHO 65/35 NB

“SikaFiber CHO 65/35 NB son fibras de acero trefilado de alta calidad para reforzamiento del hormigón tradicional y hormigón proyectado (shotcrete) especialmente encoladas (pegadas) para facilitar la homogenización en el concreto, evitando la aglomeración de las fibras individuales. SikaFiber CHO 65/35 NB son fibras de acero de alta relación longitud / diámetro (l/d) lo que permite un alto rendimiento con menor cantidad de fibra.” (SIKA, 2019c)



Fotografía 1-13 SikaFiber® CHO 65/35 NB
Recuperado: ikaFiber® CHO 65/35 NB

1.4.3. Ensayo

1.4.3.1. Flexión

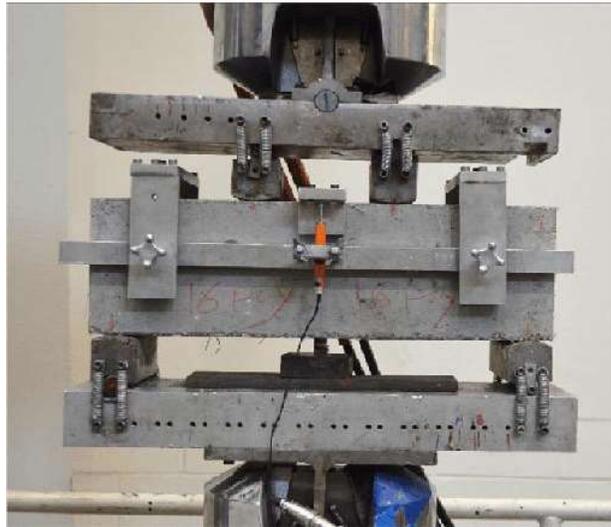
1.4.3.1.1. Moldes

El ensayo de flexión se rige a la norma (ASTM C1609, 2010), la cual indica que para realizar este ensayo se utilizan dos tipos de especímenes: 100 x 100 x 350 mm, apoyado a lo largo de 300 mm y 150 x 150 x 500 mm, apoyado a lo largo de 450 mm. Sin embargo, se indica que cualquier espécimen que cumpla la relación entre medidas puede ser utilizado, la sección transversal debe ser cuadrada y su medida corresponde a la distancia entre apoyos (L) dividida para tres. El largo de los especímenes debe ser al menos 50 mm más grande que la distancia entre apoyos y en ningún caso menor a 350 mm, la tolerancia de error para las medidas es del 2%, aunque de cualquier forma la sección debe ser cuadrada.

1.4.3.1.2. Mecánica del ensayo.

El ensayo brindado por la norma (ASTM C1609, 2010), consiste probar un espécimen tipo viga, de sección cuadrada, con refuerzo de fibras para el concreto. Para determinar la flexión, se utiliza el método de cargas en los tercios; similar al empleado en la metodología ASTM C78, con la diferencia que se aplica un sistema de ciclo cerrado, servo-controlado, con apoyos de rodillo libres de girar en sus ejes; evitando así la torsión del elemento.

Los datos son recopilados y graficados en un plano X, Y, donde se determina la gráfica de esfuerzo – deformación. El esquema muestra el primer pico, el pico y las cargas residuales en determinadas deflexiones.



Fotografía 1-14 Ensayo a la flexión método de los tercios

Recuperado: <http://www.scielo.org.mx/pdf/iit/v14n3/v14n3a13.pdf>

1.4.3.2. Compresión.

1.4.3.2.1. Moldes

Según la normativa (ASTM C39, 2014), que detalla el procedimiento a seguir para evaluar cilindros de hormigón a compresión, un molde no puede ser parte de la muestra si es que el diámetro del mismo difiere 2% de los diámetros de los otros cilindros (cambios que ocurren generalmente por golpes). Además, el molde debe ser perpendicular al eje como una tolerancia de 0.5° que equivale a 1 mm en 100 mm. Los moldes cilíndricos deben ser de acero, hierro o de cualquier otro material que no sea reactivo o absorbente

1.4.3.2.2. Mecánica del ensayo.

De acuerdo con el procedimiento de la norma (ASTM C192, 2006), inicialmente los materiales deben encontrarse entre una temperatura de 20°C y 30°C, el cemento especialmente debe encontrarse seco y el resto de materiales deben estar separados para una correcta mezcla.

Para la elaboración del cilindro, se determinará un número de capas de hormigón de igual tamaño según las medidas del cilindro que se esté ensayando basándonos en la tabla 2 que se muestra a continuación:

Tabla 1-2 ASTM C 192 (2006), Determinación del número de capas.

Specimen Type and Size	Mode of Consolidation	Numbers of Layers of Approximate Equal Depth
Cylinders:		
Diameter, in. [mm]		
3 or 4 [75 to 100]	rodding	2
6 [150]	rodding	3
9 [225]	rodding	4
up to 9 [225]	vibration	2

Recuperado de: ASTM C 192

Para la consolidación del hormigón se puede optar por dos opciones: utilizar un vibrador mecánico, el cual debe ser ingresado el número de veces que indique la tabla 3 que a su vez depende del tamaño del cilindro, o se puede consolidar mediante una varilla y con una cantidad específica de golpes, el diámetro de la varilla y la cantidad de golpes respectivos dependen de la tabla 4, las tablas para ambos casos se muestran a continuación:

Tabla 1-3 ASTM C 192 (2006), Determinación de número de inserciones de vibrador

Specimen Type and Size	Number of Insertions per Layer
Cylinder: Diameter, in. [mm]	
4 in. [200 mm]	1
6 in. [150 mm]	2
9 in. [225 mm]	4

Recuperado de: ASTM C 192

Tabla 1-4 ASTM C 192 (2006), Determinación de número de inserciones de la varilla para cada capa.

Cylinders		
Diameter of Cylinder, in. [mm]	Diameter of Rod in. [mm]	Number of Strokes/Layer
2 [50] to <6 [150]	3/8 [10]	25
6 [150]	3/8 [16]	25
8 [200]	3/8 [16]	50
10 [250]	3/8 [16]	75
Beams and Prisms		
Top Surface Area of Specimen, in. ² [cm ²]	Diameter of Rod in. (mm)	Number of Roddings/Layer
25 [160] or less	3/8 [10]	25
26 to 49 [165 to 310]	3/8 [10]	one for each 1 in. ² [7 cm ²] of surface
50 [320] or more	3/8 [16]	one for each 2 in. ² [14 cm ²] of surface
Horizontal Creep Cylinders		
Diameter of Cylinder in. [mm]	Diameter of Rod in. [mm]	Number of Roddings/Layer
6 [150]	3/8 [16]	50 total, 25 along both sides of axis

Recuperado de: ASTM C 192

Finalmente, se recomienda que la superficie superior del cilindro debe ser lisa para una correcta adherencia con la superficie de la máquina, el desencofrado debe realizarse entre las primeras 16 y 32 horas después de fundido y guardado en un lugar libre de vibración.

1.4.4. Reciclaje de plástico

Según información obtenida de la Empresa de Aseo de Cuenca, (EMAC EP, 2019), en Cuenca se registra 104 toneladas de material reciclable al mes, de estos aproximadamente el 30% corresponde a plástico PET, el 18% a plástico duro, el 16% a plástico suave y el restante está comprendido por papel, cartón, chatarra, aluminios y latas.

Este material apto para reciclaje tiene un problema, porque las estadísticas informan que solo el 25 % de las fundas celestes, que deberían contener en su totalidad este material, contienen material adecuado, esto produce una contaminación por otros desechos complicando así su reciclaje.

CAPITULO II - FIBRAS RECICLADAS

2. FIBRAS RECICLADAS

2.1. Obtención de Plástico.



Fotografía 2-1 Botellas PET recuperadas
Fuente: Autores



Fotografía 2-2 Tiras de LDPE recuperadas
Fuente: Autores



Fotografía 2-3 Botellas HDPE recuperadas
Fuente: Autores

Para la obtención de las fibras recicladas se realizó búsquedas en varias recicladoras de la ciudad de Cuenca, dando como resultado la obtención de botellas tipo PET Y HDPE de las cuales se procedió a obtener las fibras con la metodología detallada a continuación; sin embargo, en dichos lugares no fue posible la obtención del plástico tipo LDPE, por lo que fue necesario obtenerlo de otra fuente que en nuestro caso fue de una empresa tipo imprenta.

2.2. Procesamiento del Plástico.

2.2.1. Cortado y separación de fibras plásticas

2.2.1.1. Maqueta para cortado de plástico

Para realizar la maqueta se usaron los siguientes artículos:

- 12 arandelas
- 3 tirafondos de 2 pulgadas
- Cuchilla
- Tira de 4*5*50

Como se observa en la imagen a continuación se colocaron los artículos antes citados para obtener un artilugio que permita la obtención de fibras a través del alado por un costado, buscando así un procesamiento estandarizado además de eficiente.

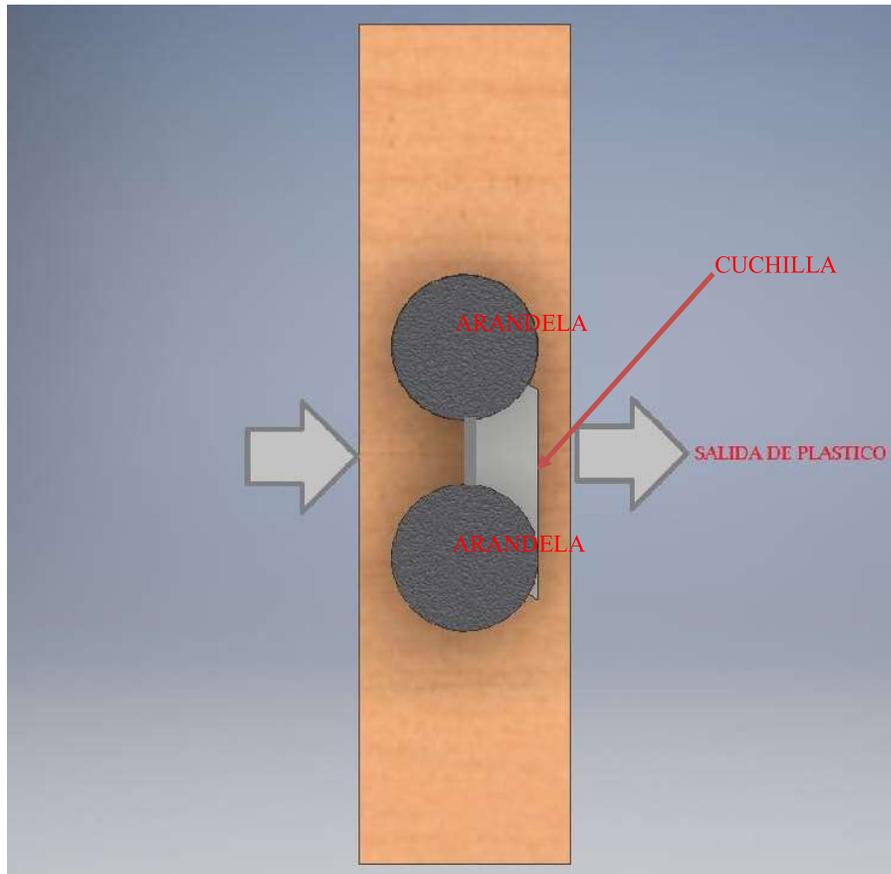


Ilustración 2-1 Esquema de maqueta para cortar plástico
Fuente: Autores



Fotografía 2-4 Maqueta realizada
Fuente: Autores



Fotografía 2-5 Cuchilla de estilete de la maqueta realizada
Fuente: Autores

El procedimiento realizado para la obtención de las fibras plásticas recicladas utilizando la maqueta se detallan en los siguientes apartados.

2.2.1.2. Cortado

Este proceso se realizó de la misma manera para cada uno de los plásticos examinados, teniendo ciertas adaptaciones en el proceso dependiendo de las características propias del plástico, como dureza, manejabilidad o estado.

2.2.1.2.1. Selección y Limpieza

En este se optó por sumergir de manera separada, una por una cada botella o envase a ser procesado dentro de una solución clorada, para garantizar así su inocuidad, proceso que se realizó por la situación actual en la que se encuentra el país.

Cabe mencionar que algunos de los envases que se consiguieron para el ensayo tuvieron que ser descartado por el estado de deterioro que presentaron, ya que posteriormente esto representaría un problema para la obtención de las fibras.

2.2.1.2.2. Seccionado

En cada botella se tenía que cortar la base y aproximadamente 1 cm arriba de la misma. Este proceso se realiza para poder introducir dentro de la maqueta realizada para procesar el plástico de una manera más eficiente.

Posteriormente, se elaboró una muesca para colocarla dentro del artilugio, de aproximadamente 5cm, permitiendo así un adecuado agarre para halar.



Fotografía 2-6 Cortado de base para colocarlo en la maqueta

Fuente: Autores



Fotografía 2-7 Tira preparada para colocarlo en la maqueta
Fuente: Autores

Con el envase en el lugar, se procede a halar para obtener tiras largas, se requiere de una presión constante para que la botella no se eleve y se corte la fibra, además de obtener retazos de gran longitud.



Fotografía 2-8 Alado de fibra plástica en la maqueta
Fuente: Autores



Fotografía 2-9 Fibra plástica en la maqueta
Fuente: Autores



Fotografía 2-10 Fibra plástica obtenida
Fuente: Autores



Fotografía 2-11 Fibra plástica obtenida
Fuente: Autores

Luego se agrupan varias tiras de fibras y se procede a cortar con un alicate para conseguir así el tamaño requerido para los ensayos.



Fotografía 2-12 Estandarización de Fibra plástica obtenida
Fuente: Autores



Fotografía 2-13 Cortado de Fibra plástica obtenida
Fuente: Autores

2.2.2. Estandarización



Fotografía 2-14 Estandarización de fibras para inclusión en mezcla de hormigón.
Fuente: Autores

Las fibras plásticas cortadas en longitudes de 5 cm y 10 cm según corresponda, fueron colocadas en bolsas con un peso de 203 gramos (0.06 % del peso específico estimado del elemento) debido a que es la cantidad que se necesita para fabricar los tres especímenes que serán ensayados por cada tipo de plástico, de esta manera simplificar y no interferir en los tiempos de mezclado del hormigón.

El porcentaje de fibras plásticas recicladas (0.06 % del peso específico estimado del elemento) se basa en los resultados obtenidos en el trabajo de tesis de (Mendieta, 2016) donde elaboró elementos con diferentes dosificaciones de fibras plásticas tipo PET, los mismos que fueron ensayados a flexión y en sus conclusiones se determina que los elementos que poseían un porcentaje de 0.06% de fibras plásticas tipo PET recicladas soportaron mayor carga con respecto a los otros elementos.



Fotografía 2-15 Fibras plásticas HDPE para inclusión en mezcla de hormigón.
Fuente: Autores



Fotografía 2-16 Fibras plásticas HDPE sin cortar para inclusión en mezcla de hormigón.
Fuente: Autores

CAPITULO III – DISEÑO Y ELABORACIÓN DE MEZCLAS

3. DISEÑOS Y ELABORACIÓN DE MEZCLAS

3.1. Diseño de mezcla

3.1.1. Hormigón $f'c$ 240 kg/cm²

3.1.1.1. Datos Preliminares

De acuerdo con los datos de laboratorio, las características de los materiales utilizados en la mezcla son los siguientes:

Tabla 3-1 Pesos específicos.

CEMENTO		
P. específico	3000	<i>Kg/m³</i>

AGREGADO FINO		
P. específico sat.	2640	<i>Kg/m³</i>
Módulo finura	2.21	
% Humedad	4.68	%
% Absorción	0.7	%

AGUA		
P. específico	1000	<i>Kg/m³</i>

AGREGADO GRUESO		
P. específico seco	1600	<i>Kg/m³</i>
P. específico sat.	2680	<i>Kg/m³</i>
% Humedad	2	%
% Absorción	0.5	%

TAMAÑO MÁXIMO AGREGADO		
T.M.A	3/4	<i>pulg.</i>

Fuentes: Autores

El valor del tamaño máximo del agregado se encuentra en pulgadas debido a que las tablas utilizadas para el diseño presentan sus datos en dicha medida.

3.1.1.2. Asentamiento

El asentamiento se determinó basándose en la siguiente tabla 6

Tabla 3-2 ACI. Determinación de asentamiento

Compactación	Consistencia	Asentamiento (mm)	Fluidez (%)	Tipo de estructura
Vibro compactación	Muy rígida	0-10	10 – 30	Pavimentos para tránsito pesado, con fuerte vibración. Elementos prefabricados.
Alta vibración	Rígida	20-40	30 – 50	Pavimentos con maquina terminadora vibratoria. Cimentaciones de hormigón masivo, secciones poco reforzadas y vibradas, muros no reforzados.
Vibración normal	Plástica	50-90	50 – 70	Muros de contención reforzados, cimentaciones, pavimentos compactados normalmente, losas, vigas y columnas poco reforzadas
Baja vibración	Fluida	100-150	70 – 100	Secciones muy reforzadas (vigas, losas, columnas), muros reforzados, hormigón a colocar en condiciones difíciles.
Sin vibración	Líquida	>150	>100	Hormigón transportado por bombeo, hormigón autonivelante, no se recomienda vibrarlo.

Recuperado de: ACI 211

Debido a que se prevé que el elemento no requiera mucha compactación, se optó por escoger un asentamiento de 12 cm.

3.1.1.3. Valor promedio de resistencia a compresión ($F'c_r$)

Según la información presentada por (Giraldo, 2006), cuando no se poseen datos estadísticos de la resistencia promedio a compresión del hormigón generado con los materiales analizados, se puede utilizar el siguiente criterio:

$$210 \frac{k}{c} < f'c < 350 \frac{k}{c} \Rightarrow F'c_r = f'c + 85 \frac{k}{c}$$

Debido a que el hormigón que se desea diseñar se encuentra entre 210 – 350 kg/cm², la resistencia de compresión de diseño debe ser igual a la deseada más un margen de error de 85 kg/cm². De tal forma, en nuestro caso la resistencia de diseño será igual a:

$$F'c_r = 240 + 85 = 325 \text{ k /c}^2$$

Finalmente se optó por redondear el valor de F'_{cr} a 320 kg/cm^2

3.1.1.4. Estimación de la cantidad de agua y aire

Para la estimación de la cantidad de aire y agua se utilizan la siguiente tabla 7 que se encuentran en función del asentamiento y tamaño máximo de la partícula de árido grueso.

Tabla 3-3 ACI. Estimación de la cantidad de Agua y Aire.

Asentamiento (mm)	Tamaño Máximo del agregado en milímetros o en (pulgadas)							
	10 mm (3/8")	12.5 mm (1/2")	20 mm (3/4")	25 mm (1")	40 mm (1½")	50 mm (2")	70 mm (3")	150 mm (6")
25 - 50	205	200	185	180	160	155	145	125
75 - 100	225	215	200	195	175	170	160	140
150 - 175	260	230	210	205	185	180	170	---
% aire atrapado	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2

Valores aproximados de agua de mezclado en Kg. y porcentaje de aire atrapado por metro cúbico de hormigón. Estos son los valores máximos, recomendados para la mezcla inicial de prueba usando agregados angulares, razonablemente bien gradados y que

Recuperado de: ACI 211

Como se detalla en la descripción de la tabla antes mostrada, los valores de la cantidad de agua y aire mostrados son los valores máximos recomendados para ser utilizados en la mezcla de hormigón, esto suponiendo que los agregados utilizados son totalmente angulares. Debido a que es muy difícil de obtener agregados totalmente angulares se aplica una reducción del valor que se obtenga mediante la tabla.

Aplicando los datos antes mencionados (asentamiento de 12 cm y tamaño máximo del agregado de $\frac{3}{4}$ de pulgada), el valor de la cantidad de agua debería ser 203 kg de agua aproximadamente para un metro cubico de hormigón elaborado; sin embargo, mediante la experimentación de la empresa (RFV CONSTRUCCIONES) donde se realizó la mezcla, se reduce 12 kg de agua por metro cubico de hormigón dando así un total de 191 kg kilogramos de agua que finalmente serán redondeados a 190 kg por metro cubico de hormigón.

Por otro lado, el contenido de aire atrapado corresponde directamente al valor designado en la tabla 6 que en este caso es de 2% cuando la mezcla se realiza con un agregado de $\frac{3}{4}$ de pulgada.

3.1.1.5. Determinación de relación agua/cemento

En este paso es necesario el uso de la resistencia promedio calculada anteriormente para utilizarla en la siguiente tabla en la que se determinan valores de relación agua / cemento en función de F'_{cr} calculado y si la mezcla contiene aire o no.

Tabla 3-4 ACI. Determinación de Relación Agua - Cemento.

f'_{cr} A LOS 28 DIAS (kg/cm ²)*	C° S/ AIRE INCORPORADO	C° C/AIRE INCORPORADO
140	0.82	0.74
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
210	0.68	0.59
250	0.62	0.53
280	0.57	0.48
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	0.34
420	0.41	0.33
450	0.38	0.31

Recuperado de: ACI 211

Debido a que el f'_{c} planteado es de 320 kg/cm², es necesario realizar una interpolación entre los valores de 300 y 350 kg/cm² en la columna de mezcla sin aire incorporado, dando así una relación de agua – cemento igual a 0.5

Posteriormente, se procede a calcular la cantidad de cemento que deberá utilizarse mediante la relación obtenida:

$$c = \frac{a}{0.5}$$

Aplicando la fórmula anterior y conociendo el valor de “a” que representa la cantidad de agua antes encontrada, la cantidad de cemento que se utilizará es de 380 kg para elaborar un metro cúbico de hormigón.

3.1.1.6. Determinación de contenido de agregado grueso

El porcentaje de contenido de agregado grueso se obtiene mediante la aplicación de la siguiente tabla que analiza el módulo de finura del agregado fino y el tamaño máximo del agregado

Tabla 3-5 ACI. Determinación de Contenido de Agregado Grueso.

Tamaño máximo agregado grueso	Modulo de finura de la arena (MF)			
	2.4	2.6	2.8	3.0
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1½"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Recuperado de: ACI 211

En los datos iniciales presentados por el laboratorio, se determinó que el módulo de finura del agregado fino es igual a 2.21, lo cual no entra en ningún rango de la tabla para un tamaño máximo de agregado de ¾ de pulgada; debido a esto, mediante la experiencia de la empresa RFV CONSTRUCCIONES) donde se realizó la mezcla se determinó utilizar un valor correspondiente al 0.6 del total de una unidad de materiales necesarios para elaborar un metro cubico de hormigón.

Una vez que se conoce el porcentaje se procede a multiplicar el mismo por el peso específico seco del agregado grueso que es un valor presente en los datos preliminares, dando así el siguiente resultado:

$$A_i \quad g = P \quad e. \quad s. \quad d \quad a \quad g \quad * 0.6$$

$$A \quad g = 1600 * 0.6 = 960 \text{ k } /m^3$$

3.1.1.7. Estimación de la cantidad de agregado fino

El agregado fino es el último material restante para calcular su volumen, gracias a esto y a que se poseen todos los datos de los otros materiales, se puede determinar el volumen de agregado fino necesario mediante la resta de una unidad de hormigón del volumen de todos los materiales antes determinados; para esto primero se debe determinar el volumen que representa cada material, excluyendo el agregado fino, en una unidad de metro cubico. Tanto del agua, cemento y árido grueso se conocen los pesos específicos (indicados en los datos preliminares) por lo que para saber el volumen que ocupa se debe dividir el valor requerido para un metro cubico sobre el peso específico, mientras que el volumen de aire es directamente el brindado por la tabla de determinación de cantidad de aire. Obteniendo así la tabla:

 Tabla 3-6 Volúmenes para un m³

VOLUMEN QUE OCUPA EN UN M3 DE UNA MEZCLA DE HORMIGON			
AGUA	CEMENTO	A. GRUESO	AIRE
0.19	0.13	0.36	0.02

Fuente: Autores

Una vez que se obtienen los valores antes mostrados se procede a realizar la resta

$$A \quad f = 1 - 0.19 - 0.13 - 0.36 - 0.02 = 0.3 \text{ m}^3$$

Finalmente, para conocer el peso en kilogramos que se necesita de árido fino para elaborar un metro cúbico de hormigón fresco se multiplica el volumen obtenido anteriormente (0.3 m³) por su peso específico seco saturado, determinándose así que se requieren 805 kilogramos de árido fino para elaborar un metro cubico de hormigón fresco.

3.1.1.8. Corrección de agregados por humedad

En este punto ya se conocen la cantidad de cada material que debe ser incluida para generar un metro cúbico, sin embargo, estos son valores en seco por lo que estos valores deben ser ajustados por humedad tanto del árido fino como del árido grueso. Para realizar el ajuste se debe emplear la siguiente formula:

$$C_{\text{ón d A}} = C_{\text{d A}} r_i * \left(\frac{\%H}{100} + 1 \right)$$

$$C_{\text{ón d A}} \text{ G} = 960 \frac{k}{m^3} * \left(\frac{2}{100} + 1 \right) = 979.2 \frac{k}{m^3}$$

$$C_{\text{ón d A}} \text{ F} = 805 \frac{k}{m^3} * \left(\frac{4.68}{100} + 1 \right) = 842.6 \frac{k}{m^3}$$

Así los valores por corrección por humedad del Agregado grueso y agregado fino son:

Tabla 3-7 Corrección por humedad.

CORRECCION POR HUMEDAD		
A. GRUESO	A. FINO	
979.2	842.6	Kg/m3

Fuente: Autores

3.1.1.9. Aporte de agua a la mezcla

El aporte de agua, aplicando los valores de los datos preliminares, que brindan los áridos a la mezcla se determina con la siguiente formula:

$$A = \frac{(\%H - \%A) * C}{100}$$

$$A_G = \frac{(2 - 0.5) * 960}{100} = 14.4 \text{ k}$$

$$A_F = \frac{(4.68 - 0.7) * 805}{100} = 32 \text{ k}$$

Mediante la aplicación de esta fórmula se obtuvieron los siguientes valores:

Tabla 3-8 Aporte de agua.

APORTE DE AGUA EN KILOS		
A. GRUESO	A. FINO	TOTAL
14.4	32.0	46.4

Fuente: Autores

La sumatoria del aporte de agua de los agregados tanto fino como grueso es 46.4 kg.

Por último, para conocer la cantidad de agua efectiva a utilizar se debe restar la cantidad de agua necesitada en materiales secos menos el aporte de agua de los agregados por la humedad que presentan, como se muestra a continuación:

$$A = 190 - 46.4 = 143.6 \text{ k}$$

3.1.1.10. Dosificación propuesta

Como resultado de los análisis antes mostrados, para realizar un metro cúbico de hormigón fresco con una resistencia a la compresión $f'c$ de 240 kg/cm^2 , se debe emplear la siguiente dosificación:

Tabla 3-9 Dosificación para un m3.

DOSIFICACION EN KG/M3			
AGUA	CEMENTO	A. GRUESO	A. FINO
143.7	380.3	979.2	842.6

Fuente: Autores

Tomando las dimensiones propuestas que se detalla en el acápite posterior “Diseño del testigo para el ensayo de flexión”, se obtuvo el volumen de hormigón fresco que sería vertido dentro del molde, además de considerar los grupos de ensayos como se indica en la tabla # 15, se decidió realizar el cálculo de la dosificación para la elaboración de 3 moldes de forma simultánea, tomando como referencia la dosificación obtenida kg/m^3 de hormigón elaborado y mediante una regla de tres simples se elaboró la siguiente dosificación.

Tabla 3-10 Volúmenes acoplados para necesidades del ensayo.

VOLUMEN DEL MOLDE PARA ELABORACION DE TESTIGOS DEL ENSAYO DE FLEXION			
ALTO(m)	PROFUNDIDAD(m)	LARGO(m)	VOLUMEN(m3)
0.16	0.16	0.53	0.014
VOLUMEN TOTAL PARA 3 MOLDES (m3)			0.041
DOSIFICACION EN KG/M3			
AGUA	CEMENTO	A. GRUESO	A. FINO
5.8	15.5	39.9	34.3

Fuente: Autores

3.2. Mezclas

3.2.1. Mezcla patrón

La mezcla patrón fue realizada con la dosificación detallada en la tabla #14, fue realizada en campo mediante una concretera mecánica, todos los materiales utilizados fueron pesados por una balanza analógica, respetando la metodología presentada en el inciso 1.2.1.2.1 de este documento. La mezcla obtenida fue vertida en los moldes elaborados de la misma forma que esta detalla en el acápite posterior “Diseño del testigo para el ensayo de flexión” y compactada mediante un vibrador mecánico de hormigón. Como su nombre lo indica, esta mezcla no incluye fibras plásticas y será la base sobre la cual posteriormente se analizarán los datos obtenidos en las pruebas que incluyan fibras.

3.2.2. Inclusión de fibras plásticas.

3.2.2.1. Tipo de plástico

Los ensayos contemplan el uso de tres tipos de fibras plásticas como se mencionan en el capítulo 2 “Fibras Recicladas”, acápite 2.1. El procedimiento de mezclado fue realizado en 8 ocasiones debido a que se realizó por grupos de ensayos referentes a cada tipo de plástico incluido dentro de la mezcla fresca de hormigón como se detalla en la tabla 14, de las cuales cada mezcla se utilizó para llenar tres moldes, moldes elaborados de la misma forma que esta detalla en el acápite posterior “Diseño del testigo para el ensayo de flexión”; obteniendo así los 24 especímenes que fueron ensayados dentro del ensayo a flexión. La inclusión de las fibras plásticas se realizó al final del proceso tradicional de mezclado del hormigón dentro de una concretera mecánica, el mezclado de las fibras se efectuó al verter las fibras plásticas dentro de la mezcla de hormigón fresco dentro de la tolva de la concretera, y realizar un mezclado mecánico, proceso que se realizó por 1 minuto buscando así garantizar que las fibras plásticas recicladas se homogenicen dentro del hormigón fresco.

Cabe recalcar que a los 8 grupos de ensayos que contemplan 24 especímenes, se incluyen un grupo de ensayos adicional referente a los 3 especímenes de la muestra patrón, dando un total de 27 especímenes para el ensayo a flexión.

3.2.2.2. Tamaño de fibras plásticas

Para cada tipo de plástico utilizando dentro del ensayo (PET, LDPE, HDPE) se empleó dos tipos de longitudes diferentes, pero manteniendo el ancho establecido, optando por las dimensiones de 10cm * 5 mm y 5cm * 5mm; además se elaboró una alternativa adicional para los especímenes con fibras plásticas tipo PET con un cambio de ancho a 2 mm, optando así por las dimensiones de 10cm * 2mm y 5cm * 2mm, obteniendo un total de 8 grupos de ensayo con 3 especímenes cada grupo, agrupados por las fibras plásticas que poseen dentro de su estructura, como se detalla dentro tabla 15.

Tabla 3-11 Grupos de muestras para elaborar ensayos.

Grupo Ensayo	Tipo de Plastico	Ancho Promedio	Longitud	Nº Muestras
1	PET	5 mm	5 cm	3
2	PET	5 mm	10 cm	3
3	HDPE	5 mm	5 cm	3
4	HDPE	5 mm	10 cm	3
5	LDPE	5 mm	5 cm	3
6	LDPE	5 mm	10 cm	3
7	PET	2 mm	5 cm	3
8	PET	2 mm	10 cm	3
Ensayo Muestra Patrón				
1	-	-	-	3
Total				27

Fuente: Autores



Fotografía 3-1 Inclusión de Fibras PET dentro de tolva con hormigón fresco.
Fuente: Autores



Fotografía 3-2 Mezcla de hormigón fresco con fibras plásticas.
Fuente: Autores

3.2.3. Diseño del testigo para el ensayo de flexión.

El diseño del testigo se basa en la normativa citada en el inciso 1.4.3.1.1 “Moldes” de esta tesis; además de tomar en cuenta las limitaciones del equipo proporcionando por la Universidad con la cual se realizó el ensayo a flexión. Finalmente, se obtuvo un encofrado

prototipo, que se ajustó a la norma empleada y a las limitaciones de las medidas de los apoyos que disponía el laboratorio donde iban a ser ensayados los especímenes.

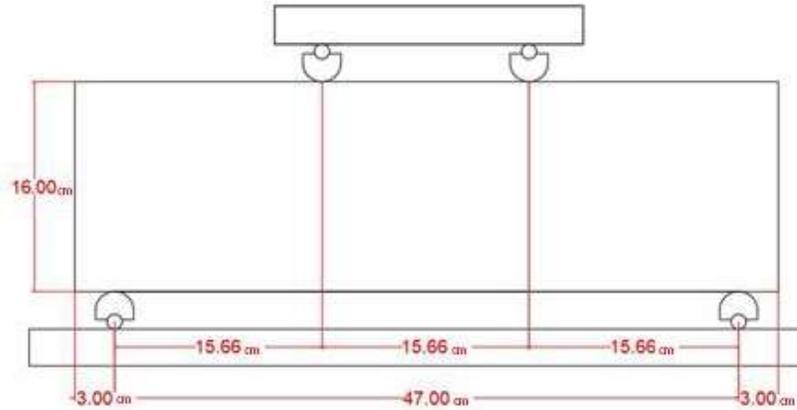


Ilustración 2 Esquema del molde para elaborar muestras para el ensayo a flexión.
Fuente: Autores

La distancia entre apoyos corresponde a los acoples proporcionados por el laboratorio y esa es la base para el diseño del molde para la viga que tiene una sección cuadrada de 16 cm con cargas en los tercios como indica la norma y un largo de 53 cm.



Fotografía 3-3 Vista en planta del Encofrado.
Fuente: Autores



Fotografía 3-4 Vista lateral del Encofrado.

Fuente: Autores

3.2.4. Elaboración de testigos para ensayo a flexión

Los testigos para el ensayo a flexión se realizaron según la metodología indicada en el acápite 1.4.3.1.2 “Mecánica del ensayo”; la fabricación de los especímenes para el ensayo, se realizó en campo a lo largo de tres días consecutivos donde cada día se elaboraron nueve especímenes; realizando así las 24 muestras con inclusión de fibras plástico y las 3 muestras inclusión de fibras plásticas como se detalla en la tabla #. Al momento de elaborar los especímenes se realizó un vaciado manual, compactado y alisado de la cara superior; la compactación manual fue efectuada mediante varilla, adicionalmente se utilizó un vibrador mecánico de hormigón para complementar la compactación para así garantizar que no exista porosidades internas que perjudiquen a la resistencia durante el ensayo.



Fotografía 3-6 Compactación manual.
Fuente: Autores



Fotografía 3-5 Muestras alisadas.
Fuente: Autores

3.2.5. Elaboración de testigos para ensayo

3.2.6. a compresión

Los testigos para los ensayos a compresión fueron realizados según la normativa detallada en el inciso 1.4.3.2.2. “Mecánica del ensayo”, se obtuvo un cilindro de la mezcla de hormigón realizado para cada grupo de ensayos a flexión realizado, es decir, 9 cilindros. Los cilindros de metal utilizados como molde tienen 15 cm de diámetro y 30 cm de alto. Siguiendo el orden de las tablas proporcionados por la metodología de la normativa, se determinó que los cilindros deben ser llenados en tres capas del mismo grosor aproximadamente y compactados mediante una varilla de 16 mm de diámetro con un total de 25 inserciones de la varilla por cada capa.

3.3. Curado

Para el curado de los especímenes elaborados para los ensayos, inicialmente durante el fraguado inicial se les humedeció y se cubrió las muestras con una lona plástica, para mantener su humedad; cumpliendo las 24 horas de fundidas la muestras, fueron desencofradas y posteriormente fueron puestos bajo agua durante 27 días. En este caso debido a la cantidad de muestras, se utilizó un tanque plástico de reserva de agua que permitió que todos los especímenes se encuentren sumergidos y así obtener un correcto curado.



Fotografía 3-7 Curado primera 24 horas.
Fuente: Autores

Como se evidencia en la ilustración #, existen falta de alisamiento en ciertas muestras que van a ser testeadas en el ensayo a flexión, aclarando que la falta de alisamiento solo ocurre en los extremos, que por el molde utilizado no permitía un total alisamiento, más esto ocurre en los extremos que según las especificaciones propias del ensayo no tienen injerencia dentro del resultado del mismo.

La señalización de las muestras para el ensayo a flexión, se realizó en una de las caras laterales y superior de cada, ya que en la ilustración # no se evidencia señalización alguna.



Fotografía 3-8 Curado durante 28 Días.
Fuente: Autores

CAPITULO IV – ENSAYO DE TESTIGOS

4. ENSAYO DE TESTIGOS

4.1. Flexión.

4.1.1. Estandarización de parámetros

De acuerdo con la normativa (ASTM C1609, 2010), al momento de realizar el ensayo a flexión, los elementos ensayados deben estar restringidos a la torsión; para lo cual, en nuestro caso, se colocó una pletina a lo largo del elemento en cada lado y fueron sujetadas mediante prensas. Adicionalmente, se realizó un acople que permitió apoyar el deformímetro que se utiliza al momento de ensayar el elemento. A continuación, se presenta de forma gráfica lo antes mencionado



Fotografía 4-1 Fijadores para ensayo a flexion.
Fuente: Autores.



Fotografía 4-2 Ensamble de acoples en una muestra.
Fuente: Autores.



Fotografía 4-3 Ensamble de acoples en una muestra.
Fuente: Autores.



Fotografía 4-4 Ensamblaje dentro de la prensa.

Fuente: Autores.

4.1.2. Resultados obtenidos

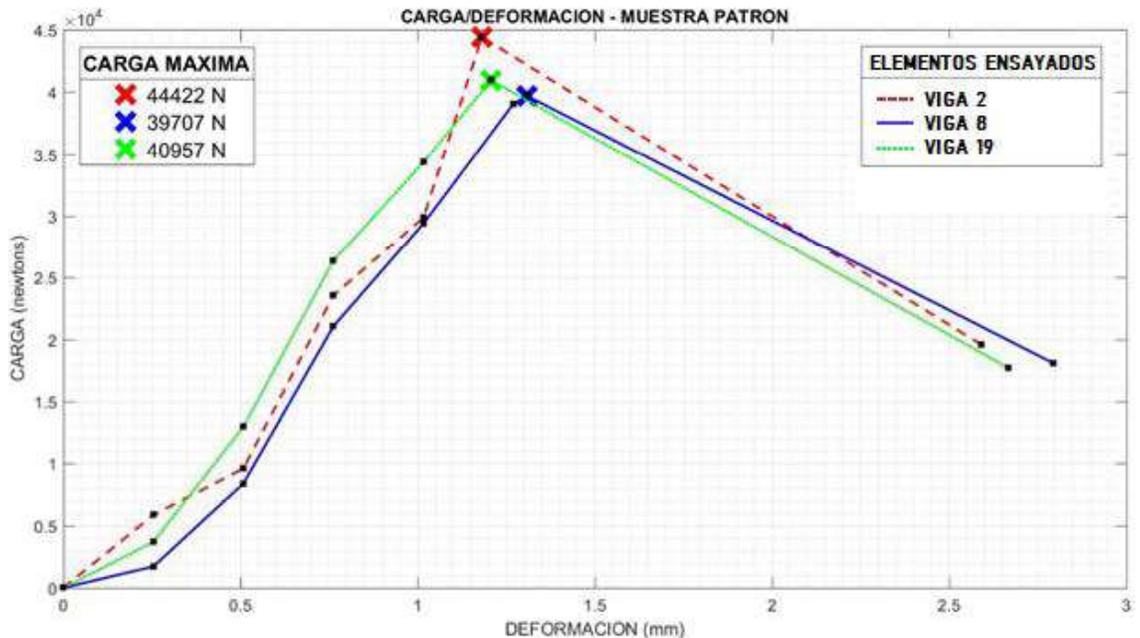
Los resultados obtenidos mediante los ensayos a flexión realizados para cada elemento se agruparon dependiendo el tipo de fibras que contienen, cada tabla posteriormente presentada contiene datos de carga y flexión presentadas por cada espécimen ensayado que en total son tres para cada tipo y espesor de plástico planteado anteriormente. De igual manera para cada tabla se realizó una representación gráfica de los datos para facilitar el análisis del comportamiento de los mismos, adicionalmente cada tabla presenta un promedio de los datos obtenidos que serán analizados posteriormente. Para el análisis del promedio se utilizaron los valores de carga y deformación de cada elemento a excepción de algunos especímenes que presentan resultados atípicos en comparación con los otros dos; se detallara en las tablas presentadas posteriormente como PD al “Promedio Deformación” y PC al “Promedio Carga”. A continuación, se muestran los resultados obtenidos:

4.1.2.1. Muestra Patrón

Tabla 4-1 Resultado obtenidos de las Muestras Patrón, en el ensayo a Flexión.

S/P	VIGA 2	DEFORMACION (mm)	0	0.254	0.508	0.762	1.016	1.1811	2.5908	
		CARGA (N)	0	5837	9586	23544	29876	44422	19568	
	VIGA 8	DEFORMACION (mm)	0	0.254	0.508	0.762	1.016	1.27	1.3081	2.794
		CARGA (N)	0	1708	8375	21052	29394	39069	39707	18072
	VIGA 19	DEFORMACION (mm)	0	0.254	0.508	0.762	1.016	1.2065	2.667	
		CARGA (N)	0	3680	12948	26353	34351	40957	17703	
PD			0.254	0.508	0.762	1.016	1.2319	2.6839		
PC			3741.7	10303	23650	31207	41695	18448		

Fuente: Autores



Gráfica 4-1 Resultado obtenidos de las Muestras Patrón, en el ensayo a Flexión.

Fuente: Autores

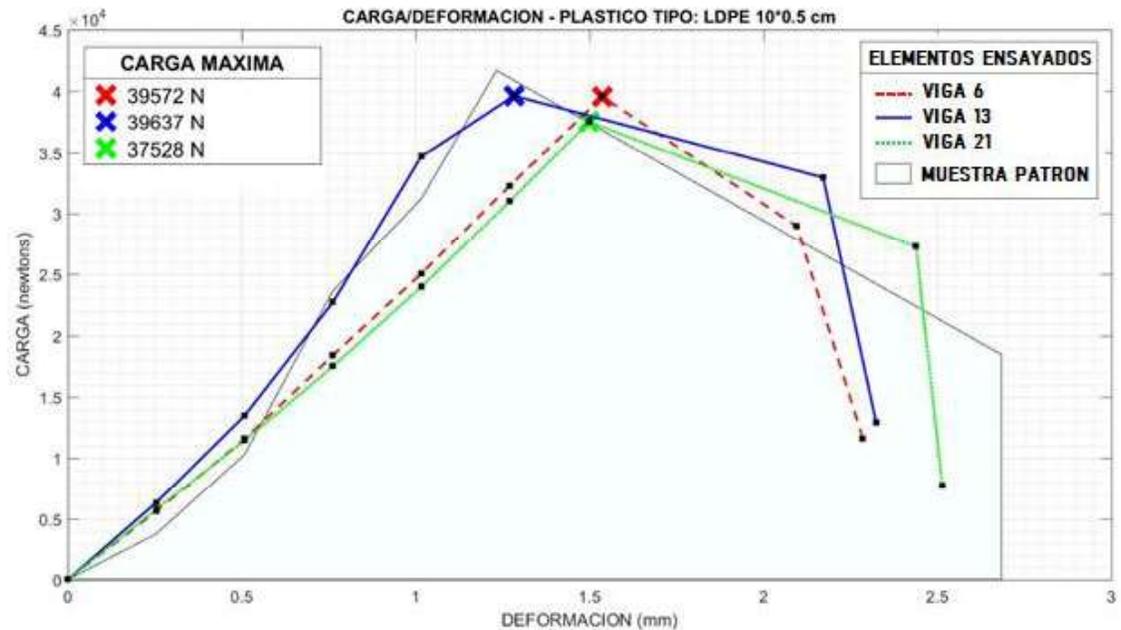
Estos resultados hacen referencia al grupo de ensayo, en el cual se experimentó los 3 especímenes que no poseen fibras plásticas. El promedio resultante tanto en deformación, como en carga, de este grupo de ensayo servirán como referencia para los siguientes grupos de ensayos que contienen muestras con las fibras plásticas.

4.1.2.2. Plástico tipo LDPE

Tabla 4-2 Resultado obtenidos de las Muestras con plástico LDPE de 10*0.5cm, en el ensayo a Flexión.

LDPE 10*0.5	VIGA 8	DEFORMACION (mm)	0	0.254	0.508	0.762	1.016	1.27	1.5367	2.0955	2.286
		CARGA (N)	0	5604	11563	18381	25039	32271	39572	28956	11598
	VIGA 13	DEFORMACION (mm)	0	0.254	0.508	0.762	1.016	1.2827	2.1717	2.3241	
		CARGA (N)	0	6325	13459	22705	34673	39637	32960	12911	
	VIGA 21	DEFORMACION (mm)	0	0.254	0.508	0.762	1.016	1.27	1.4986	2.4384	2.5146
		CARGA (N)	0	5772	11442	17476	23954	30997	37528	27260	7758
PD			0.254	0.508	0.762	1.016	1.27	1.4393	2.2352	2.3749	
PC			5900.3	12155	19521	27889	31634	38912	29725	10756	

Fuente: Autores



Gráfica 4-2 Resultado obtenidos de las Muestras con plástico LDPE de 10*0.5cm, en el ensayo a Flexión.

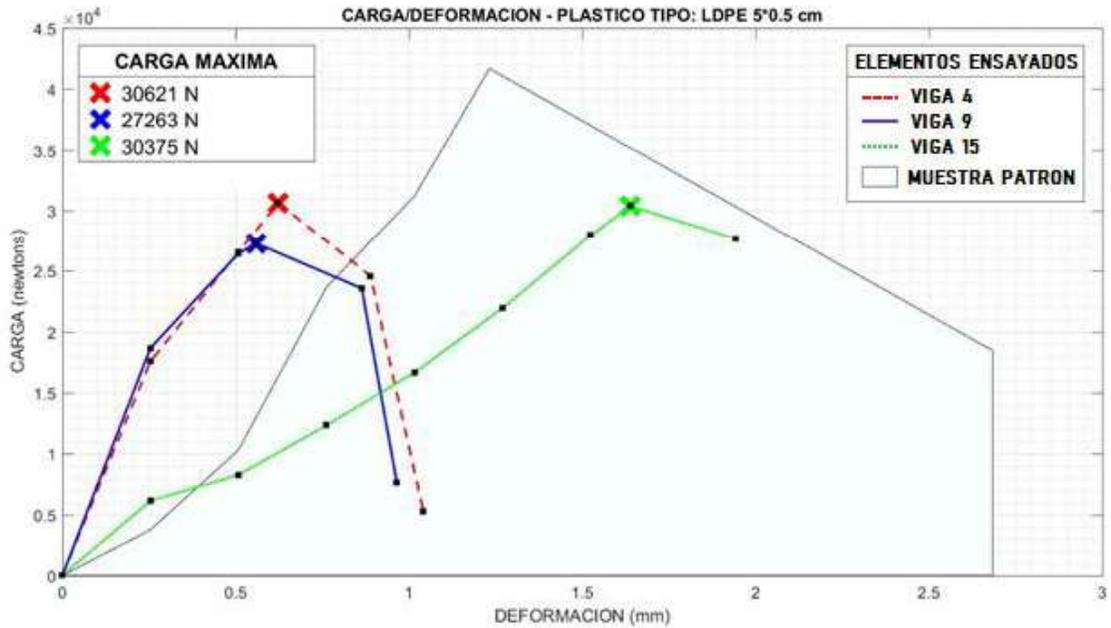
Fuente: Autores

En este caso no se descartaron ninguno de los resultados obtenidos ya que todas las muestras ensayadas presentan un comportamiento similar, tanto en su deformación como en su carga máxima.

Tabla 4-3 Resultado obtenidos de las Muestras con plástico LDPE de 5*0.5cm, en el ensayo a Flexión.

LDPE 5*0.5	VIGA 4	DEFORMACION (mm)					0	0.254	0.508	0.8223	0.889	1.0414
		CARGA (N)					0	17567	28547	30621	24569	5268
	VIGA 9	DEFORMACION (mm)					0	0.254	0.508	0.5588	0.8636	0.9652
		CARGA (N)					0	18855	26427	27263	23547	7588
	VIGA 15	DEFORMACION (mm)	0	0.254	0.508	0.762	1.018	1.27	1.524	1.8383	1.9431	
		CARGA (N)	0	8122	8260	12328	16653	21937	27931	30375	27658	
PD							0.254	0.508	0.5906	0.8763	1.0033	
PC							18111	26487	28942	24058	6427	

Fuente: Autores



Gráfica 4-3 Resultado obtenidos de las Muestras con plástico LDPE de 5*0.5cm, en el ensayo a Flexión.

Fuente: Autores

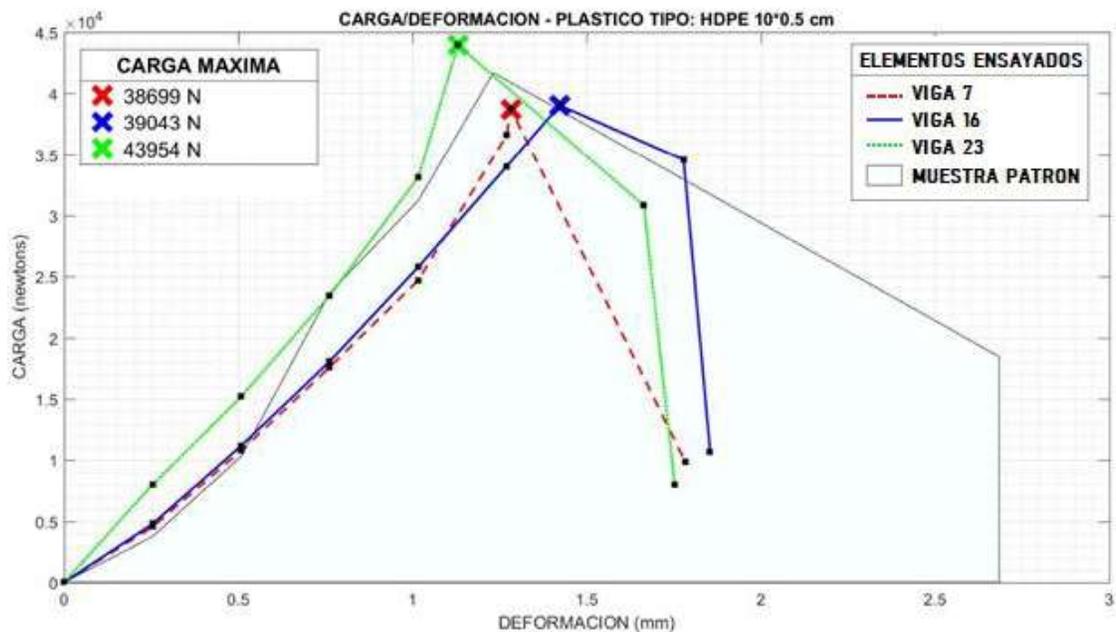
En este caso se descartaron los resultados obtenidos por la viga 15 en el ensayo a flexión, ya que presentan un desfase significativo en el valor de deformación máxima, este resultado atípico se pudo formar porque la cantidad volumétrica de las fibras plásticas utilizadas dentro de la mezcla de hormigón era abundante, dando la posibilidad que esto haya afectado a la homogeneidad de la mezcla de hormigón.

4.1.2.3. Plástico tipo HDPE

Tabla 4-4 Resultado obtenidos de las Muestras con plástico HDPE de 10*0.5cm, en el ensayo a Flexión.

HDPE 10*0.5	VIGA 7	DEFORMACION (mm)	0	0.254	0.508	0.762	1.016	1.27	1.2827	1.7831	
		CARGA (N)	0	4532	10788	17586	24685	36582	38699	9856	
	VIGA 16	DEFORMACION (mm)	0	0.254	0.508	0.762	1.016	1.27	1.4224	1.778	1.8542
		CARGA (N)	0	4782	11169	18055	25764	34019	39043	34571	10653
	VIGA 23	DEFORMACION (mm)	0	0.254	0.508	0.762	1.016	1.1303	1.6637	1.7526	
		CARGA (N)	0	7994	15182	23447	33112	43954	30837	7953	
PD			0.254	0.508	0.762	1.016	1.2785	1.7416	1.8034		
PC			5769.3	12380	19696	27854	40565	25088	9303		

Fuente: Autores



Gráfica 4-4 Resultado obtenidos de las Muestras con plástico HDPE de 10*0.5cm, en el ensayo a Flexión.

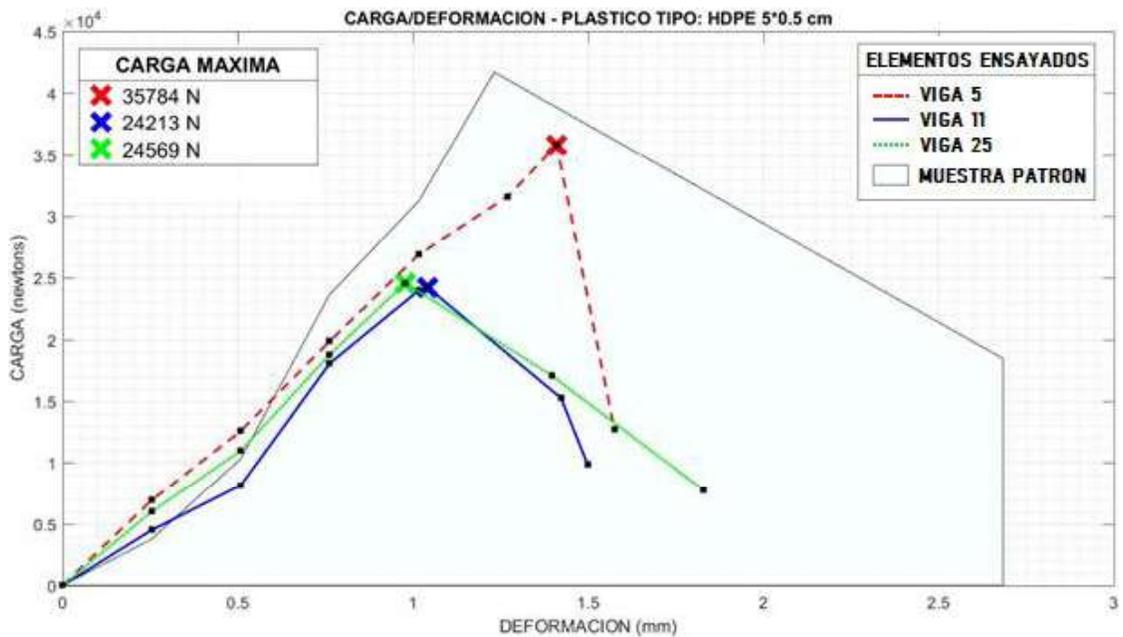
Fuente: Autores

En este caso no se descartaron ninguno de los resultados obtenidos ya que todas las muestras ensayadas presentan un comportamiento similar, tanto en su deformación como en su carga máxima.

Tabla 4-5 Resultado obtenidos de las Muestras con plástico HDPE de 5*0.5cm, en el ensayo a Flexión.

HDPE 5*0.5	VIGA 5	DEFORMACION (mm)	0	0.254	0.508	0.762	1.016	1.27	1.4097	1.5748
		CARGA (N)	0	6897	12568	19852	26879	31589	35784	12685
	VIGA 11	DEFORMACION (mm)	0	0.254	0.508	0.762	1.016	1.0414	1.4224	1.4986
		CARGA (N)	0	4473	8124	18055	23966	24213	15247	9827
	VIGA 25	DEFORMACION (mm)	0	0.254	0.508	0.762	0.9779	1.397	1.8288	
		CARGA (N)	0	5967	10949	18765	24569	17058	7758	
PD			0.254	0.508	0.762	1.0097	1.4097	1.6637		
PC			5220	9536.5	18410	24391	16153	8792.5		

Fuente: Autores



Gráfica 4-5 Resultado obtenidos de las Muestras con plástico HDPE de 5*0.5cm, en el ensayo a Flexión.

Fuente: Autores

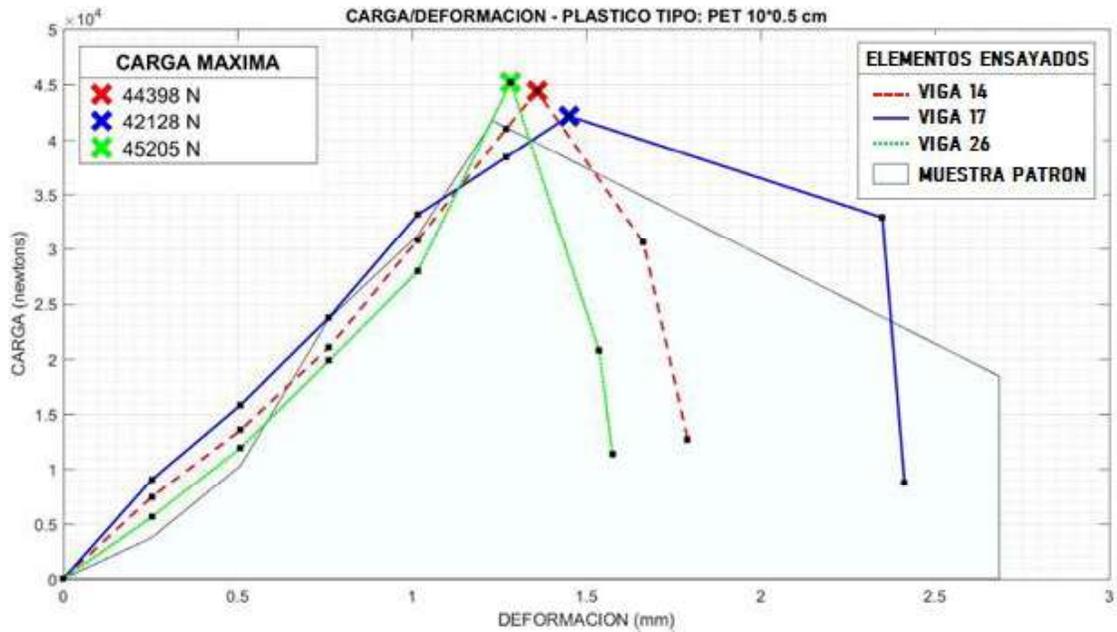
Para este gráfico, se descartaron los resultados obtenidos por la viga 5 en el ensayo a flexión, ya que presentan un desfase significativo en los valores de carga máxima y deformación, esto se puede dar por una falla en la adherencia del plástico utilizado por la baja rugosidad de las fibras plásticas tipo HDPE, ya que este plástico es proveniente de distintos envases plásticos que contuvieron diferentes sustancias.

4.1.2.4. Plástico tipo PET ancho 0.5 cm

Tabla 4-6 Resultado obtenidos de las Muestras con plástico PET de 10*0.5cm, en el ensayo a Flexión.

PET 10*0.5	VIGA 14	DEFORMACION (mm)	0	0.254	0.508	0.762	1.016	1.27	1.3589	1.6637	1.7907
		CARGA (N)	0	7451	13542	21049	30807	40973	44398	30595	12688
	VIGA 17	DEFORMACION (mm)	0	0.254	0.508	0.762	1.016	1.27	1.4503	2.3495	2.413
		CARGA (N)	0	9028	15809	23759	33119	38397	42128	32868	8730
	VIGA 26	DEFORMACION (mm)	0	0.254	0.508	0.762	1.016	1.2827	1.5367	1.5748	
		CARGA (N)	0	5618	11896	19853	27922	45205	20745	11341	
PD			0.254	0.508	0.762	1.016	1.27	1.364	1.85	1.9262	
PC				7365.7	13749	21554	30616	39685	43910	28069	10920

Fuente: Autores



Gráfica 4-6 Resultado obtenidos de las Muestras con plástico PET de 10*0.5cm, en el ensayo a Flexión.

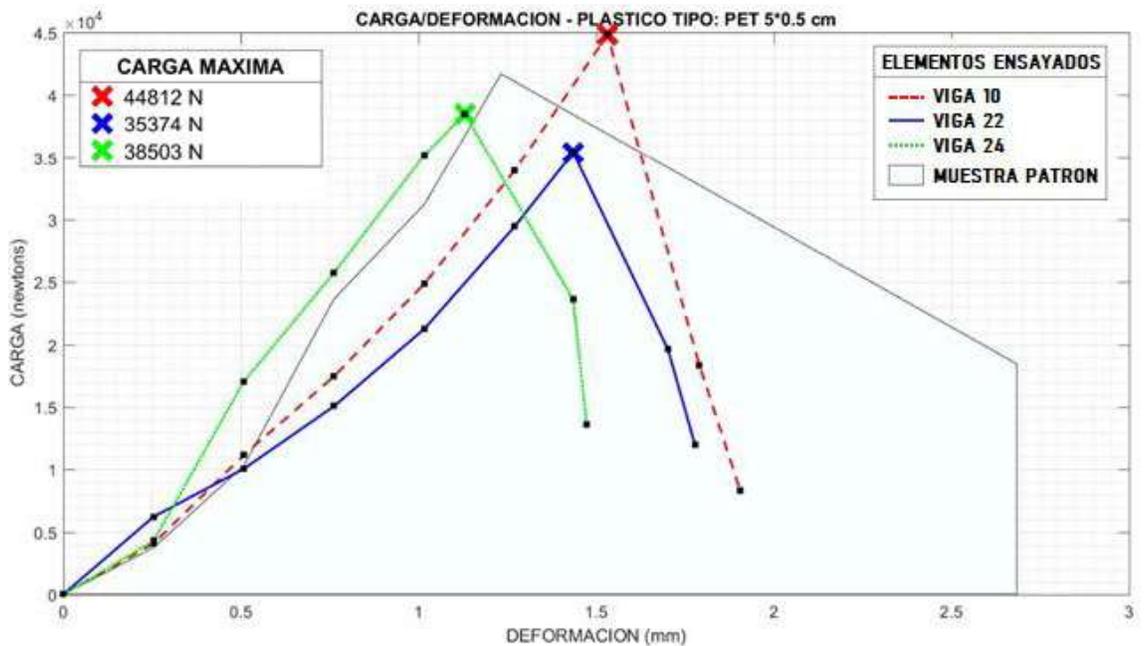
Fuente: Autores

En este caso no se descartaron ninguno los resultados obtenidos ya que todas las muestras ensayadas presentan un comportamiento similar, tanto en su deformación como en su carga máxima.

Tabla 4-7 Resultado obtenidos de las Muestras con plástico PET de 5*0.5cm, en el ensayo a Flexión.

PET 5*0.5	VIGA 10	DEFORMACION (mm)	0	0.254	0.508	0.762	1.016	1.27	1.5316	1.7907	1.905
		CARGA (N)	0	4060	11150	17452	24853	33927	44812	18315	8318
	VIGA 22	DEFORMACION (mm)	0	0.254	0.508	0.762	1.016	1.27	1.4351	1.7018	1.778
		CARGA (N)	0	6206	10050	15060	21244	29432	35374	19609	11959
	VIGA 24	DEFORMACION (mm)	0	0.254	0.508	0.762	1.016	1.1303	1.4351	1.4732	
		CARGA (N)	0	4280	17027	25742	35159	38503	23584	13568	
PD			0.254	0.508	0.762	1.016	1.2827	1.5685	1.6256		
PC			5243	13539	20401	28202	36939	21597	12764		

Fuente: Autores



Gráfica 4-7 Resultado obtenidos de las Muestras con plástico PET de 5*0.5cm, en el ensayo a Flexión.

Fuente: Autores

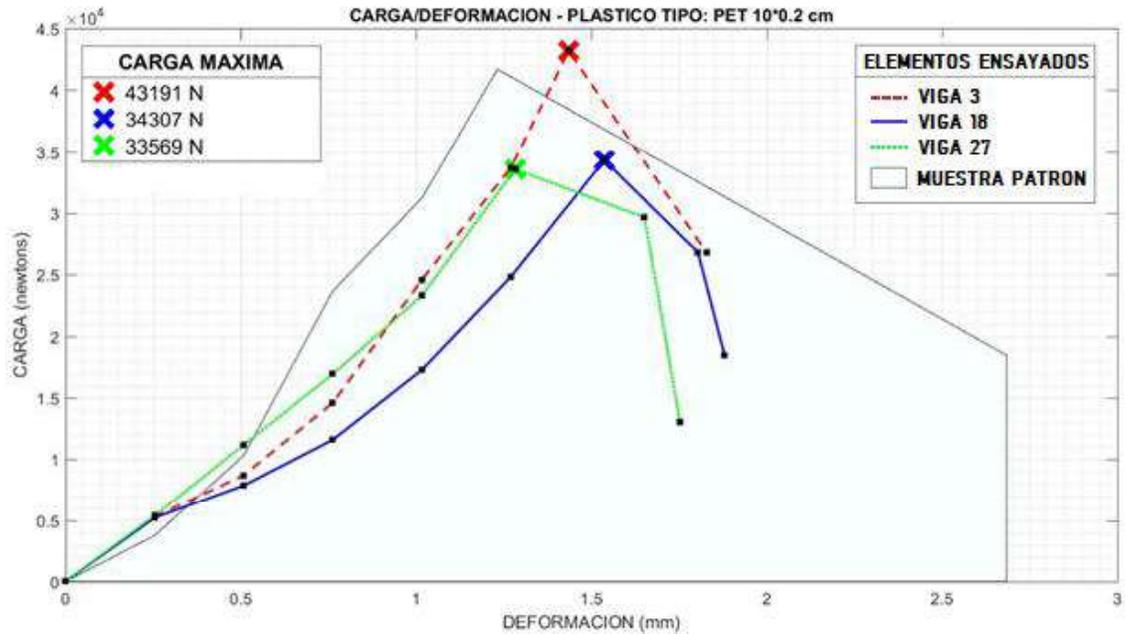
En este caso, se descartaron los resultados obtenidos por la viga 10 en el ensayo a flexión, ya que presentan un desfase significativo en el valor de carga máxima.

4.1.2.5. Plástico tipo PET ancho 0.2 cm

Tabla 4-8 Resultado obtenidos de las Muestras con plástico PET de 10*0.2cm, en el ensayo a Flexión.

PET 10*0.2	VIGA 3	DEFORMACION (mm)	0	0.254	0.508	0.762	1.016	1.27	1.4351	1.8288	
		CARGA (N)	0	5284	8695	14586	24568	33687	43191	26752	
	VIGA 18	DEFORMACION (mm)	0	0.254	0.508	0.762	1.016	1.27	1.5367	1.8034	1.8796
		CARGA (N)	0	5193	7858	11578	17255	24810	34307	26807	18456
	VIGA 27	DEFORMACION (mm)	0	0.254	0.508	0.762	1.016	1.2827	1.651	1.7526	
		CARGA (N)	0	5363	11177	16917	23277	33569	29651	13015	
PD			0.254	0.508	0.762	1.016	1.27	1.4097	1.7272	1.8161	
PC			5278	9517.5	14248	20266	29190	33938	28229	15736	

Fuente: Autores



Gráfica 4-8 Resultado obtenidos de las Muestras con plástico PET de 10*0.2cm, en el ensayo a Flexión.

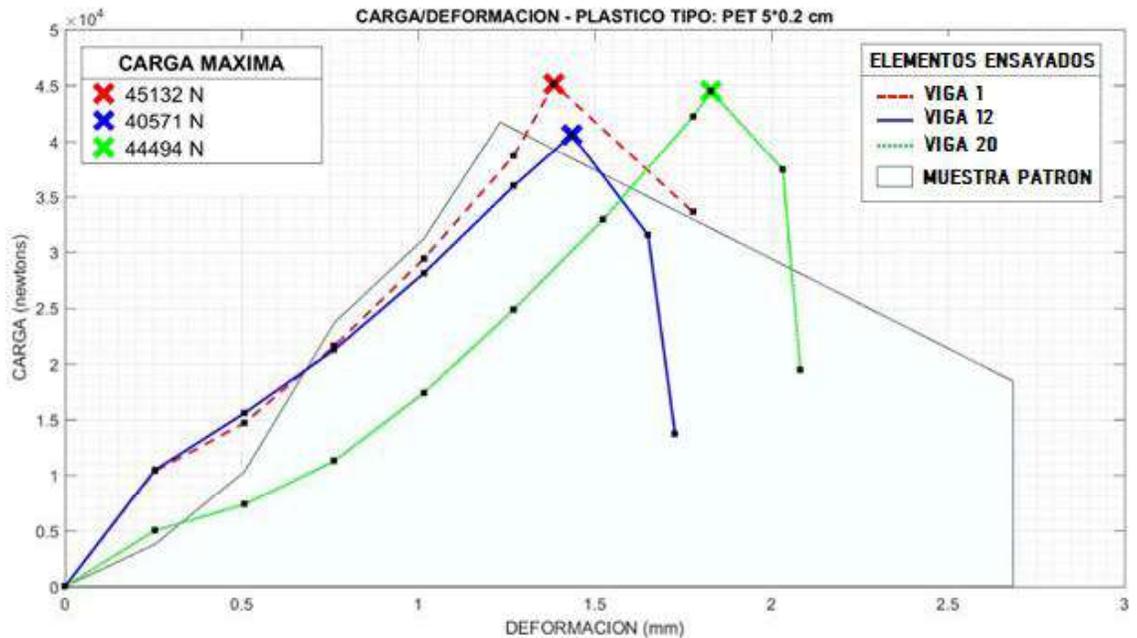
Fuente: Autores

En este caso, se descartaron los resultados obtenidos por la viga 3 en el ensayo a flexión, ya que presentan un desfase significativo en el valor de carga máxima.

Tabla 4-9 Resultado obtenidos de las Muestras con plástico PET de 5*0.2cm, en el ensayo a Flexión.

PET 5*0.2	VIGA 1	DEFORMACION (mm)	0	0.254	0.508	0.762	1.016	1.27	1.3843	1.778	
		CARGA (N)	0	10358	14689	21568	29405	38657	45132	33596	
	VIGA 12	DEFORMACION (mm)	0	0.254	0.508	0.762	1.016	1.27	1.4351	1.651	1.7272
		CARGA (N)	0	10452	15569	21236	28105	35945	40571	31540	13728
	VIGA 20	DEFORMACION (mm)	0	0.254	0.508	0.762	1.016	1.27	1.524	1.778	1.8288
		CARGA (N)	0	4979	7319	11274	17388	24840	32953	42197	44494
PD			0.254	0.508	0.762	1.016	1.27	1.5494	1.7145		
PC				8596.3	12526	18026	24966	33147	43399	32568	

Fuente: Autores



Gráfica 4-9 Resultado obtenidos de las Muestras con plástico PET de 5*0.2cm, en el ensayo a Flexión.

Fuente: Autores

En este caso no se descartaron ninguno de los resultados obtenidos ya que todas las muestras ensayadas presentan un comportamiento similar, tanto en su deformación como en su carga máxima.

4.2. Compresión

4.2.1. Estandarización de parámetros

Por motivos de acceso al laboratorio de la Universidad por las restricciones propias de la pandemia, se decidió efectuar el ensayo de todos los cilindros a los 28 días, en tres días consecutivos, para garantizar así que cada muestra cumpla sus 28 días. Transcurridos los 28 días a partir de su elaboración, las muestras fueron llevadas al laboratorio para ser evaluadas en el ensayo a compresión. Los especímenes fueron colocados en la prensa y se aplicó carga axial de compresión de forma paulatina hasta que el indicador de carga alcance su pico y comience a decrecer.

4.2.2. Resultados obtenidos

Tabla 4-10 Resultado obtenidos de las muestras en el ensayo a Compresión Simple.

DIA	MUESTRA TOMADA DE MEZCLA DE HORMIGON	DIMENSIONES			CARGA MAXIMA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm ²)
		ALTO (cm)	DIAMETRO (cm)	AREA DE CONTACTO (cm ²)		
1	PET 5*0.5 cm	30	15.20	181.46	42159	232.33
1	LDPE 5*0.5 cm	30	15.21	181.7	42358	233.12
1	HDPE 5*0.5 cm	30	15.19	181.22	41956	231.52
2	LDPE 10*0.5 cm	30	15.19	181.22	43971	242.64
2	HDPE 10*0.5 cm	30	15.22	181.94	46750	256.95
2	PET 10*0.5 cm	30	15.18	180.98	46859	258.92
3	PET 5*0.2 cm	30	15.20	181.46	46225	254.74
3	PET 5*0.2 cm	30	15.21	181.7	42658	234.77
3	SIN PLASTICO	30	15.20	181.46	44586	245.71

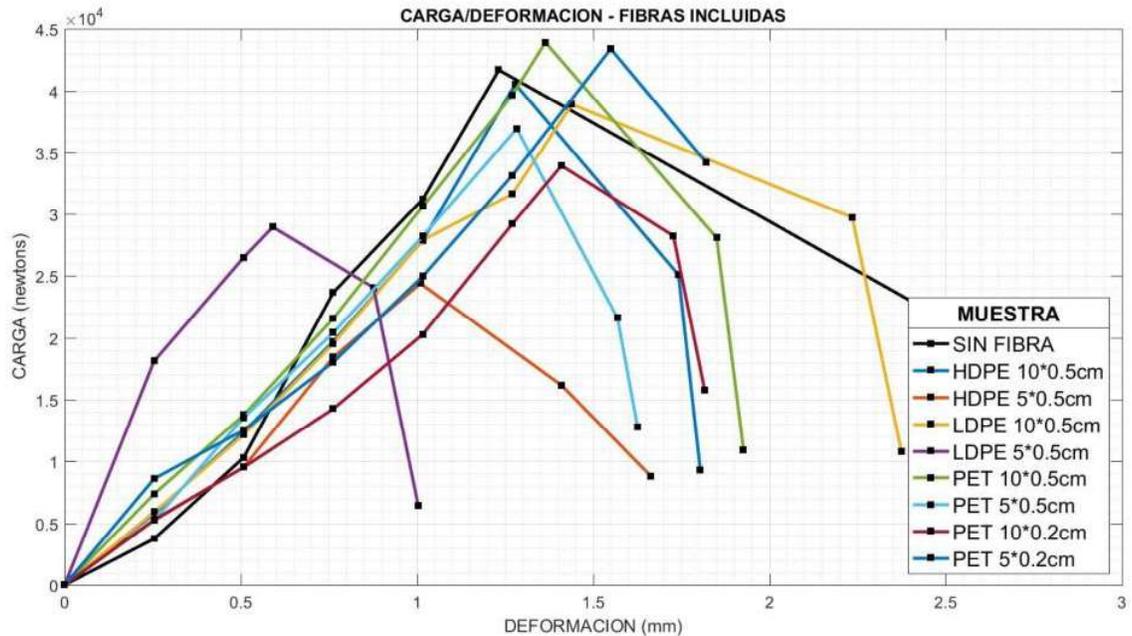
Fuente: Autores

Como se observa, en la tabla 25, los resultados obtenidos en el ensayo a compresión de la mezcla de hormigón con f_c 240 kg / cm², utilizada para realizar los especímenes del ensayo a flexión, se puede evidenciar que presentan resultados similares dentro de la resistencia alcanzada en el ensayo a compresión; los valores alcanzados en el ensayo a compresión aportan que la variación obtenida en los resultados del ensayo a flexión de las muestras elaboradas, van a estar estrechamente ligados a la inclusión de fibras plásticas y no de la resistencia a compresión que poseen los especímenes.

CAPITULO V – RESULTADOS

5. RESULTADOS

5.1. Análisis de resultados



Gráfica 5-1 Representación gráfica del promedio de cada uno de los grupos de ensayo.
Fuente: Autores.

En la gráfica mostrada anteriormente, se trabajó con los promedios obtenidos de los grupos de ensayo del capítulo anterior, donde se compara el comportamiento obtenido por cada una de las fibras empleadas, se determina que las muestras que incluyen fibras plásticas tipo PET fueron las que mejor comportamiento desarrollaron durante el experimento, ya que son las que obtuvieron resultados mejores sobre los obtenidos por la muestra patrón (Sin fibras). Otro factor importante que se observa es la influencia de la relación ancho-largo de la fibra empleada, ya que cuando las fibras presentan una relación de rectangularidad cercanas a 0.045 tienen un mejor comportamiento al ensayo de flexión; de esta manera se puede notar que las fibras 5*0.5 cm con una rectangularidad igual a 0.1, independientemente del tipo de plástico, son las que peor se comportan frente al ensayo a flexión.

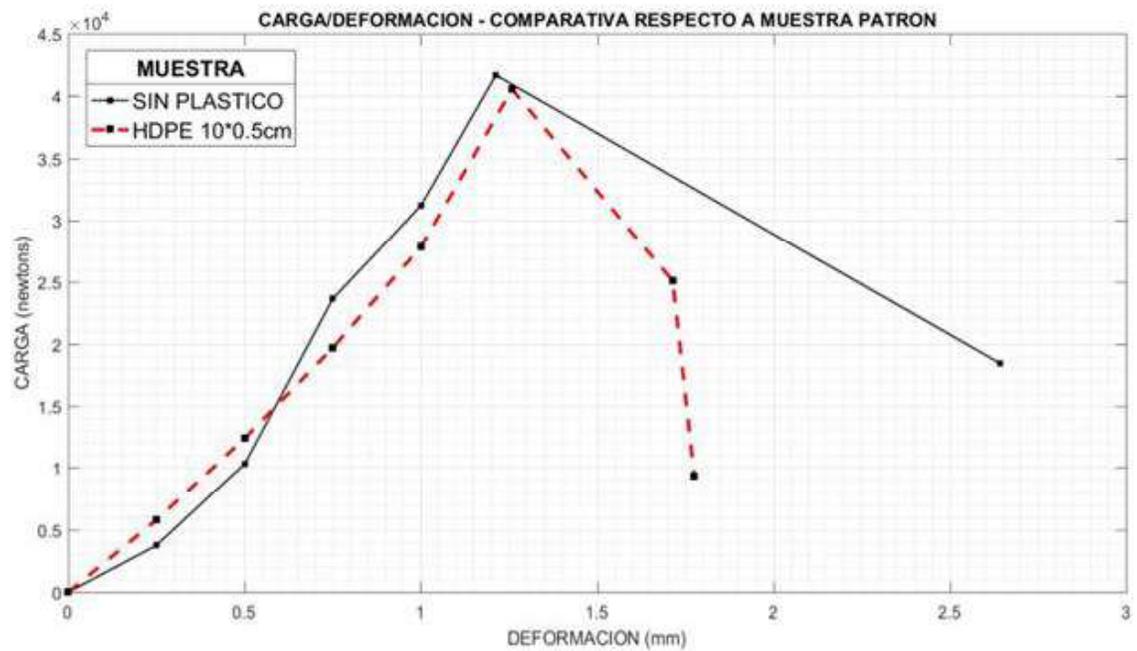
Analizando la deformación máxima presentada por cada tipo de plástico, descartando las fibras “HDPE 5*0.5 cm” y “LDPE 5*0.5 cm” que por la rectangularidad antes

mencionada tuvieron un comportamiento diferente, todas presentan un valor similar al momento del fallo no así, en el valor máximo de carga resistido.

Finalmente, evaluando en conjunto con los resultados obtenidos mediante el ensayo de compresión, se establece que la resistencia a compresión, en este caso en particular, no es un parámetro totalmente determinante dentro del comportamiento de las muestras al momento del ensayo a flexión, ya que el conjunto de mezclas de hormigón en el ensayo a compresión no presenta una gran dispersión entre sí.

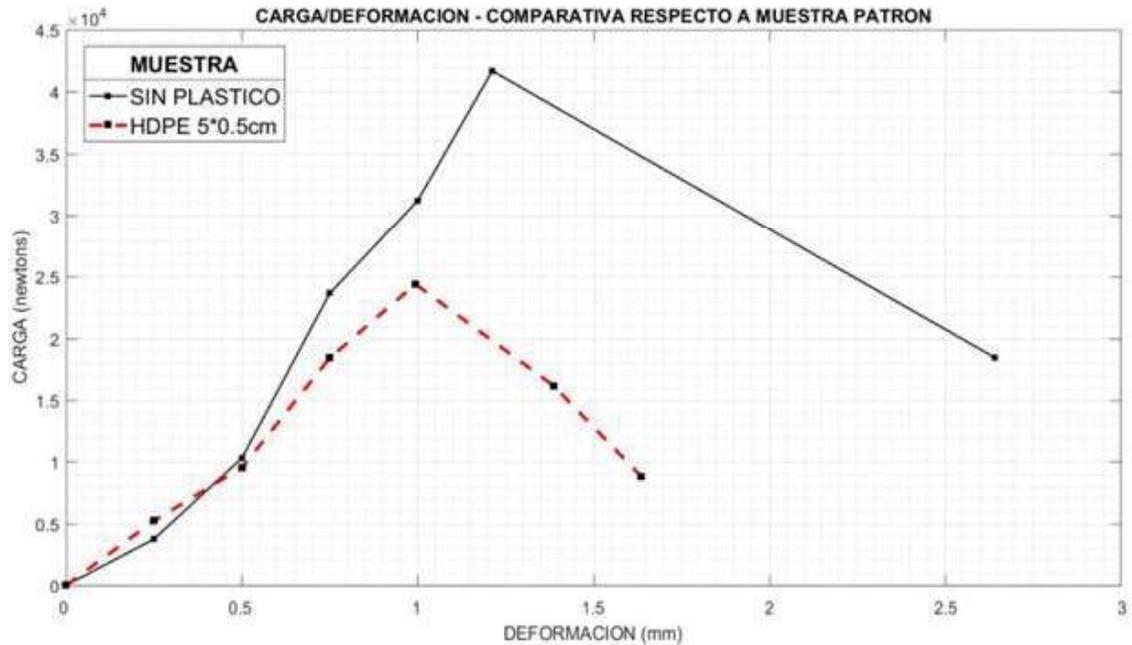
A continuación, se detalla en graficas separadas el comportamiento del promedio de cada grupo de ensayo que tuvo fibras plásticas dentro de su mezcla, en relación contra el promedio del grupo de ensayo sin fibras plásticas dentro de su mezcla.

HDPE



Gráfica 5-2 Comparación gráfica del promedio del grupo de ensayo HDPE 10*.05cm contra el grupo de ensayo muestra patron.

Fuente: Autores.



Gráfica 5-3 Comparación grafica del promedio del grupo de ensayo HDPE 5*.05cm contra el grupo de ensayo muestra patron.

Fuente: Autores.

Las muestras con fibras plásticas tipo HDPE, como se observa en las gráficas 11 y 12, no superaron los valores con respecto a los obtenidos por la muestra patrón. La muestra que peor comportamiento presenta es la “HDPE 5*0.5 cm” debido a que no aporta nada estructuralmente e incluso reduce la capacidad del elemento ante la flexión, a diferencia de la muestra “HDPE 10 *0.5 cm” que presenta valores de carga y deformación máximos similares a los obtenidos por la muestra patrón.



Fotografía 5-1 Fisura Viga HDPE 5*0.5.
Fuente: Autores



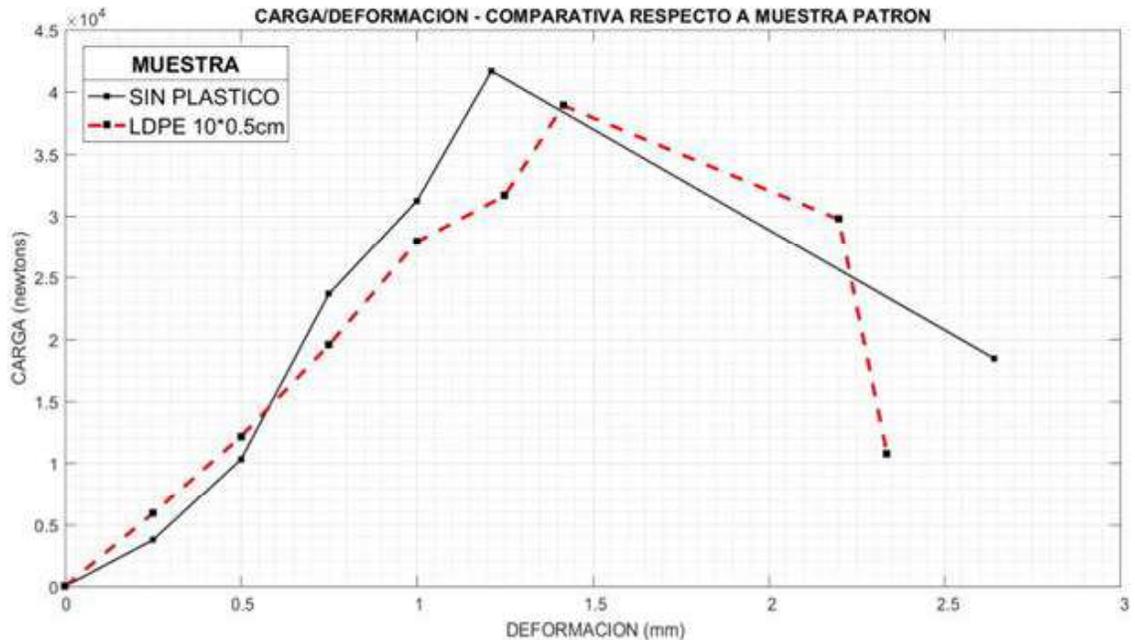
Fotografía 5-2 Fisura Viga HDPE 10*0.5.
Fuente: Autores



Fotografía 5-3 Elemento con fibras HDPE abierto por la mitad.
fuente: Autores

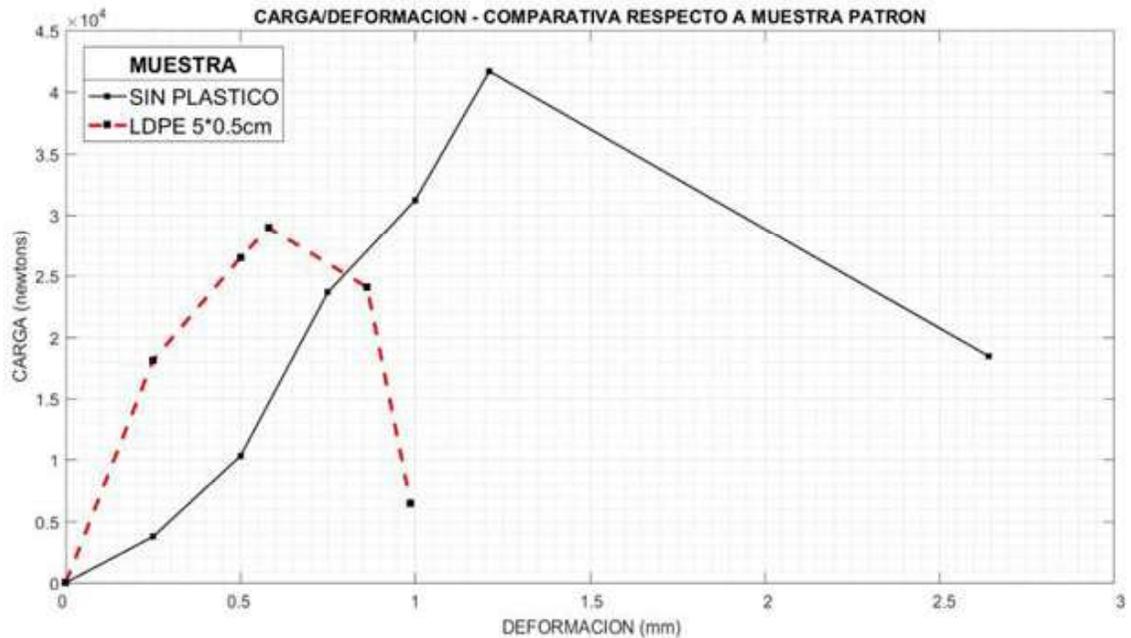
Para confirmar los resultados obtenidos en el ensayo a flexión, como se evidencia en las fotografías 43,44 y 45, que la muestra con fibras plásticas “HDPE 10 *0.5 cm” no presenta una fisura de tamaño significativo y es casi imperceptible con relación a la muestra con fibra “HDPE 5 *0.5 cm” que presenta una fisura de mucho mayor tamaño. La forma de la falla de las muestras fue de manera progresiva y al momento de ser abiertas en la fisura, las fibras no presentaron ninguna resistencia debido a la naturaleza del material ya que la mayoría no estaban correctamente adheridas al hormigón y las fibras que si lo estaban adheridas se rompían fácilmente, posiblemente esto se debe por la capa de anti adherencia y la poca rugosidad que posee este material, ya que su uso generalmente está destinado al envasado de productos químicos altamente corrosivos.

LDPE



Gráfica 5-4 Comparación grafica del promedio del grupo de ensayo LDPE 10*.05cm contra el grupo de ensayo muestra patron.

Fuente: Autores.



Gráfica 5-5 Comparación grafica del promedio del grupo de ensayo LDPE 5*.05cm contra el grupo de ensayo muestra patron.
Fuente: Autores.

De acuerdo a las gráficas 13 y 14 antes presentadas, la muestra que incluye fibras “LDPE 5*0.5 cm” presenta un comportamiento muy inferior con respecto a la muestra patrón tanto en deformación como en carga máximas. Por otro lado, la muestra de tiene presente fibras “LDPE 10*0.5 cm” presenta una notoria mejoría en la deformación máxima con respecto a la muestra patrón y en cuanto a carga máxima no existe una gran diferencia entre las muestras analizadas.



Fotografía 5-4 Fisura Viga LDPE 5*0.5.
Fuente: Autores



Fotografía 5-5 Fisura Viga LDPE 10*0.5.
Fuente: Autores



Fotografía 5-6 Elemento con fibras LDPE abierto por la mitad.
fuente: Autores

En este caso en específico, como se evidencia en las fotografías 46,47 y 48, aunque la muestra que menor capacidad presentó no tiene una fisura notable al momento del ensayo se apreció que perdió rápidamente capacidad de carga por lo que se procedió a terminar con el ensayo, a diferencia de la muestra que presentó mayor capacidad de carga que tuvo

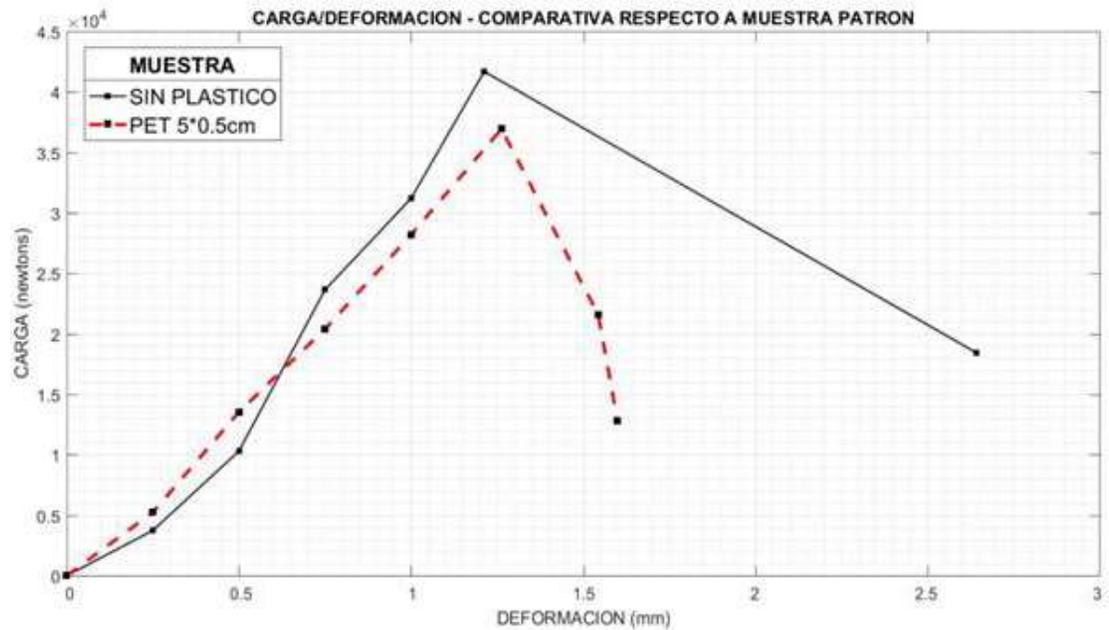
una falla frágil muy similar a las muestras que no presentaban fibras plásticas en su interior.

Al momento de abrir las muestras por la fisura, las fibras plásticas presentaban adherencia al hormigón mas no resistencia para separar la muestra ya que debido a su composición química de pocas cadenas de carbono, su estructura es débil con poca aleación entre si y por lo tanto se quiebran fácilmente.

PET

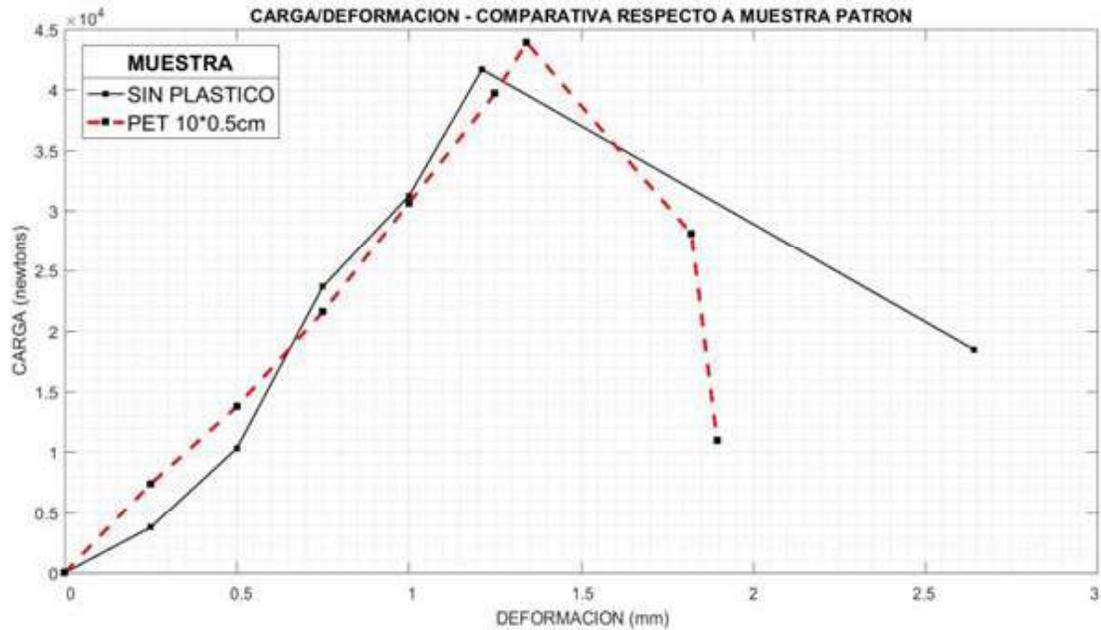
Este tipo de plástico posee las muestras que superaron a la muestra patrón y que mejores resultados presentaron en general con respecto a los otros tipos de plástico.

PET 0.5cm



Gráfica 5-6 Comparación grafica del promedio del grupo de ensayo PET 5*.05cm contra el grupo de ensayo muestra patron.

Fuente: Autores.



Gráfica 5-7 Comparación gráfica del promedio del grupo de ensayo PET 10*.05cm contra el grupo de ensayo muestra patron.
Fuente: Autores.

De acuerdo a las gráficas 15 y 16 antes presentadas, las muestras que incluyen fibras “PET 5*0.5 cm” en cuanto a deformación tuvieron un comportamiento similar a la muestra patrón y una pequeña afectación en su capacidad de carga máxima, a diferencia de las muestras con fibras “PET 10*0.5 cm” que superaron tanto en deformación como carga máxima a la muestra patrón, denotando que estas fibras plásticas pueden ser consideradas como un aporte estructural para flexión en la mezcla de hormigón.



Fotografía 5-7 Fisura Viga PET 10*0.5.
Fuente: Autores



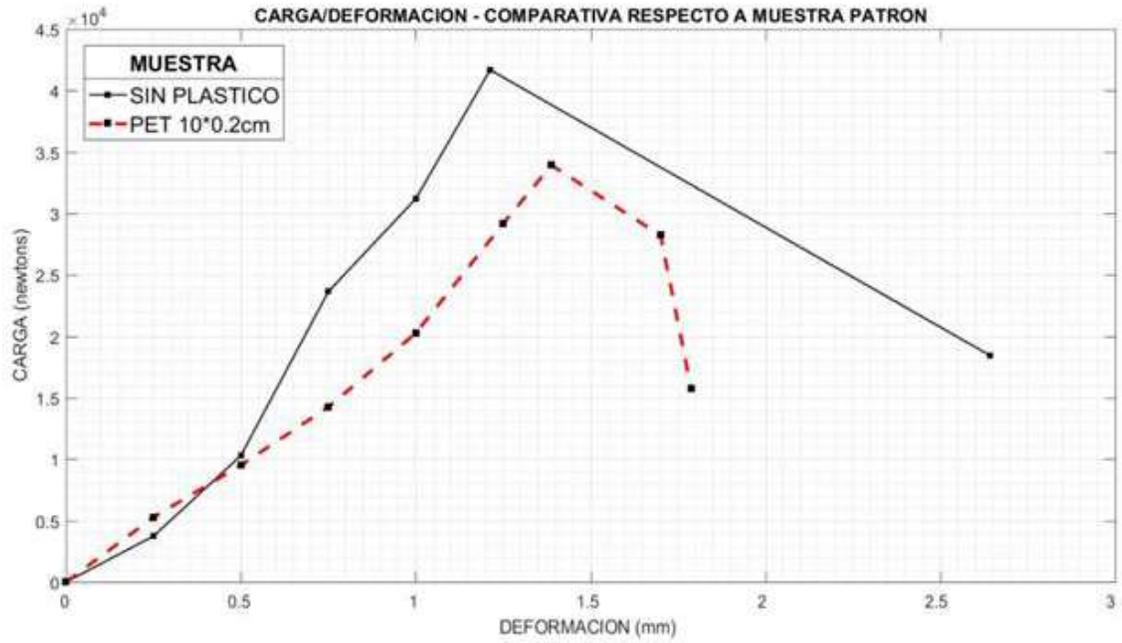
Fotografía 5-8 Fisura Viga PET 5*0.5.
Fuente: Autores



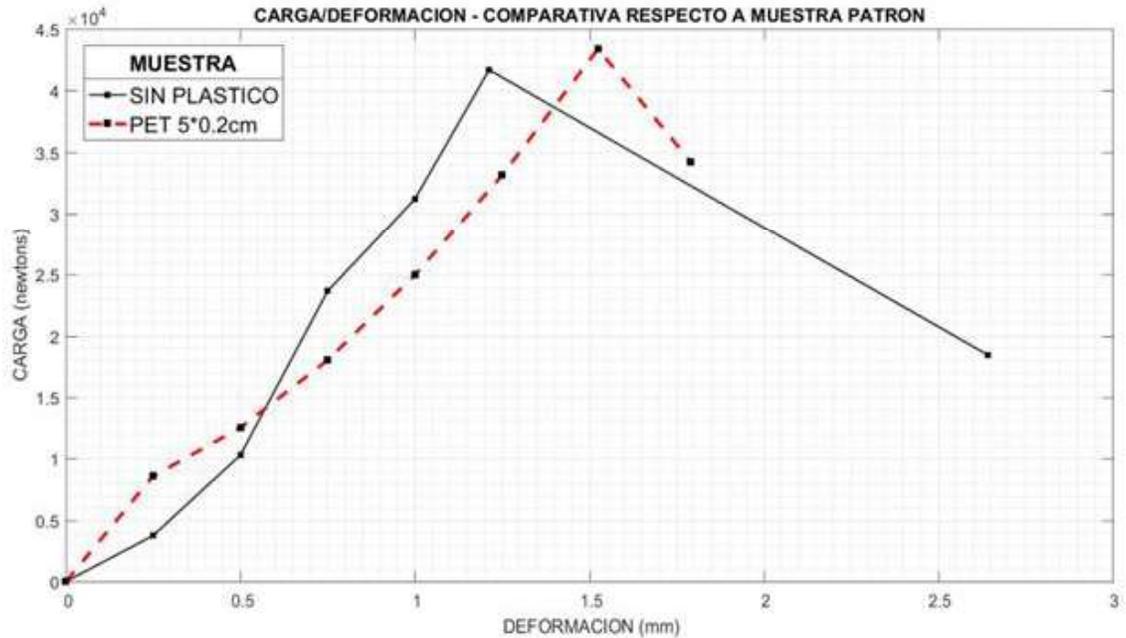
Fotografía 5-9 Elemento con fibras PET abierto por la mitad.
fuente: Autores

En ninguno de los dos casos se presentan fisuras considerables, como se evidencia en las fotografías 49,50 y 51, además de que el fallo producido al momento del ensayo a flexión fue de forma dúctil. Al momento de separar la muestra, debido a la composición química que poseen las fibras, se observó una gran adherencia con el hormigón y debido a la rigidez que poseen se dificultó la separación de la muestra.

PET 0.2 cm



Gráfica 5-8 Comparación grafica del promedio del grupo de ensayo PET 10*.02cm contra el grupo de ensayo muestra patron.
Fuente: Autores.



Gráfica 5-9 Comparación grafica del promedio del grupo de ensayo PET 5*.02cm contra el grupo de ensayo muestra patron.
Fuente: Autores.

De acuerdo a las gráficas 17 y 18 antes presentadas, las dos muestras exhibieron un incremento considerable en la deformación con respecto a la muestra patrón, sin embargo, la muestra con fibras “PET 10*0.2 cm” presentó una menor capacidad de carga; debido a que en este caso las fibras tienen un ancho menor, no se cumple la relación de rectangularidad antes mencionada. Por otro lado, las muestras con fibras “PET 5*0.2cm” son las que mayor deformación presentaron en todo el experimento.



Fotografía 5-10 Fisura Viga PET 5*0.2.
Fuente: Autores



Fotografía 5-11 Fisura Viga PET 10*0.2.
Fuente: Autores



Fotografía 5-12 Elemento con fibras PET ancho 2mm abierto por la mitad.
fuente: Autores



Fotografía 5-13 Resistencia presentada por fibras PET ancho 2 mm
fuente: Autores.

En las fotografías 53, 54 y 55, se puede observar que debido a la falla dúctil que presentaron las muestras y al aporte de las fibras plásticas, las fisuras creadas al momento del ensayo son casi imperceptibles. De acuerdo con las ilustraciones antes mostradas, se puede evidenciar una gran adherencia de las fibras plásticas con el hormigón y la capacidad para soportar la tensión que se genera al momento de abrir las muestras por la fisura ya que el único elemento que presentaba resistencia son las fibras debido a que el hormigón ya estaba fracturado.

Considerando lo detallado en la “ASTM C1609, 2010”, en el acápite “Incremento de Resistencia a Fuerza y Deformación”, recomiendan que para el cálculo del incremento de la fuerza se utilice la siguiente fórmula:

$$f = \frac{P*L}{b*d^2}$$

Donde:

P: es igual a carga máxima obtenida.

L: es la luz entre los apoyos del espécimen.

b: igual al ancho promedio del espécimen en la cara de la fractura.

d: representa la profundidad promedio del espécimen en la cara de la fractura.

Se obtuvo las siguientes tablas, 26 y 27, en las cuales se pueden evidenciar el porcentaje de incremento o decremento que tuvieron los promedios de los grupos de ensayo respecto al promedio del grupo de ensayo de las muestras patrón (Sin fibras)

Tabla 5-1 Resultados de Incremento de fuerza de los elementos del experimento

MUESTRA	CARGA (N)	LONGITUD (mm)	ANCHO SUPERIOR (mm)	ANCHO INFERIOR (mm)	ALTO IZQUIERDA (mm)	ALTO DERECHA (mm)	FUERZA (Mpa)	PORCENTAJE DE INCREMENTO
SIN FIBRA	41695.33	470	158	156	170	169	4.3446	-----
LDPE 10*0.5 cm	38912.33	470	157	156	169	171	4.0436	-6.93%
LDPE 5 *0.5 cm	28942.00	470	156	156	170	169	3.0350	-30.14%
HDPE 10*0.5 cm	40565.33	470	159	156	171	170	4.1641	-4.15%
HDPE 5*0.5 cm	24391.00	470	156	156	169	170	2.5578	-41.13%
PET 10 * 0.5 cm	43910.33	470	157	156	169	168	4.6446	6.91%
PET 5 * 0.5 cm	36938.50	470	158	156	168	169	3.8947	-10.35%
PET 10 * 0.2 cm	33938.00	470	159	156	171	168	3.5250	-18.86%
PET 5 * 0.2 cm	43399.00	470	159	156	171	168	4.5077	3.76%

Fuente: Autores

Tabla 5-2 Resultados de Incremento de deformación de los elementos del experimento

MUESTRA	DEFORMACION (mm)	PORCENTAJE DE INCREMENTO
SIN FIBRA	1.23	-----
LDPE 10*0.5 cm	1.44	16.84%
LDPE 5 *0.5 cm	0.59	-52.06%
HDPE 10*0.5 cm	1.28	3.78%
HDPE 5*0.5 cm	1.01	-18.04%
PET 10 * 0.5 cm	1.36	10.72%
PET 5 * 0.5 cm	1.28	4.12%
PET 10 * 0.2 cm	1.41	14.43%
PET 5 * 0.2 cm	1.55	25.77%

Fuente: Autores

Mediante la tabla se muestra que los elementos con fibras tipo PET 10*0.5 cm y PET 5*0.2 cm aportan un porcentaje de incremento tanto en carga máxima resistida como deformación. Todos los elementos a excepción de las muestras con fibras tipo HDPE 5*0.5cm y LDPE 5*0.5cm presentan un incremento de resistencia ante la deformación, pero estos datos son descartados debido al nulo aporte hacia la capacidad máxima de carga.

CAPÍTULO VI – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

En referencia al tema de la obtención de la materia prima para el experimento, respaldado en lo que se detalla en el capítulo 2 acápite 2.1 “Obtención de plástico”, se concluye que en la ciudad de Cuenca es dificultoso obtener plástico en buenas condiciones así como se evidencia en las fotografías mostradas en dicho capítulo; situación que se repite a lo largo del mundo por lo que se debe realizar procesos industriales para recuperar el estado del plástico a un nivel adecuado, ya que esto, es un factor determinante para el ensayo debido a que la calidad y la rapidez para la obtención de las fibras depende directamente del estado en el que se encuentren los plásticos. Esta conclusión se respalda además en el recorrido que se realizó a lo largo de varios centros de acopio donde generalmente el tratamiento y cuidado que se brinda al plástico es nulo debido a que su forma de venta es al peso indistintamente del estado en el que se encuentre el mismo; existiendo gran rechazo por parte de los centros de acopio para la venta de volúmenes pequeños porque no representa un ingreso económico significativo.

Sobre la obtención de las fibras plásticas, como se describe en el capítulo 2 acápite 2.2 “Procesamiento del Plástico”, existen varios factores que afectan la obtención y calidad de las fibras plásticas; la maqueta usada presentó dificultades debido a la simpleza de la misma que no permitía obtener grandes volúmenes de fibras de forma continua. Cada tipo de plástico presentaba características propias para las cuales se debía acoplar la maqueta haciendo muy incómodo e intermitente la obtención de las fibras plásticas recicladas. El uso de una hoja de cuchilla no fue lo más apropiado, debido a que cada tipo de plástico presentaba diferentes resistencias a ser cortado, lo que generaba un deterioro acelerado de la cuchilla volviendo demorado el proceso de obtención de las fibras además de que causaban una variación en su ancho. La maqueta fue determinante para el ancho de las fibras plásticas; las fibras fueron obtenidas al ser haladas de forma manual y era imposible realizar una fuerza constante haciendo que el plástico se trabe con la cuchilla lo que causaba la ruptura de la fibra; el único plástico que permitió la obtención de fibras plásticas

de menor ancho y con una dificultad aceptable fue el plástico tipo PET. El cortado de las fibras en los largos deseados se realizó de forma manual y no permitió que todas las fibras tengan el mismo largo teniendo así una variación de 0.5 cm como máximo con respecto al valor establecido. Como un punto específico, se evidenció mayor dificultad en la obtención de las fibras plásticas recicladas del tipo HDPE debido a una junta existente que para ser reforzada aumentaba el espesor en esa sección lo que generalmente desencadenaba la ruptura de la fibra. Estas dificultades mencionadas pudieron tener una afectación al comportamiento de los especímenes al momento del ensayo a flexión, sin embargo, es imposible cuantificar esta afección.

El diseño de la mezcla de hormigón con $f'c$ 240 kg/cm² no presentó mayor problema ya que las características de los materiales pétreos utilizados eran conocidas por la empresa (RFV CONSTRUCCIONES) donde realizó la fundición de los elementos. El mayor inconveniente en este aspecto es la determinación de la dosificación de las fibras plásticas recicladas para elaborar mezclas de hormigón; existen proveedores locales de fibras con usos similares, pero ninguno de estos es de plástico reciclado sino de plásticos de fabricación directa; por lo que al basarnos en documentos de tesis igualmente experimentales no existe una certeza de un valor recomendado de dosificación; los documentos de tesis investigadas únicamente experimentan con fibras plásticas tipo PET por lo que se tuvo que asumir que dicha dosificación sería la correcta para el resto de tipos de plásticos.

El análisis de los resultados de los ensayos a compresión denota que existió una variación en los resultados de resistencia de la mezcla, esto debido a que las muestras se realizaron en campo afectando directamente a la humedad de los materiales por las características ambientales de la región, se puede aseverar esto ya que todos los materiales fueron controlados al peso. Al momento de realizar los elementos, se evidenció de forma visual una dificultad de trabajabilidad en el hormigón fresco debido a la inclusión de las fibras plásticas; la dificultad variaba dependiendo del tipo de plástico utilizado ya que por la densidad de los plásticos presentaban volúmenes diferentes a pesar de tener el mismo peso; el plástico tipo LDPE era el que mayor volumen de fibras plásticas presentaba, por

ende, el que menos trabajabilidad presentaba. Como consecuencia de la poca trabajabilidad antes mencionada, se tuvo que complementar la compactación manual con varilla mediante un vibrador mecánico de hormigón tratando de evitar porosidades que puedan afectar al ensayo como se detalla en el capítulo 3 acápite 3.2.4 “Elaboración de testigos para ensayo a flexión”; a pesar de todo lo antes realizado, el alisado de la cara superior presentó dificultad lo cual pudo haber causado una incorrecta distribución de cargas al momento del ensayo a flexión.

La estandarización de parámetros para el ensayo a flexión no presentó mayor dificultad; mediante investigación se determinó que hay varios procedimientos normados donde se incluye de fibras plásticas al hormigón lo cual facilitó bastante la realización del ensayo, únicamente se debe seguir la metodología establecida. Los materiales para realizar el encofrado y acoples para evitar la torsión, que se utilizan en la metodología utilizada, no fueron complicados de conseguir a un bajo costo tomando en cuenta que pueden ser reutilizados en varios ensayos. Un factor determinante es el equipo con el que fue medida la deformación al momento de realizar el ensayo, a razón de que, el deformímetro al ser manual obligó a registrar los datos a través de la grabación de vídeos que posteriormente tuvieron que ser analizados en conjunto con los datos de carga brindados por la prensa; el cruce de los datos se realizó de forma visual, lo que no generó una precisión exacta entre los datos.

Con respecto a los resultados mostrados por los ensayos, y después de haber realizado el análisis de los tres tipos de fibras plásticas recicladas (PET, HDPE, LDPE) dentro de muestras de hormigón ensayadas a flexión, se puede notar que las fibras plásticas recicladas presentan un aporte referente a la capacidad de deformación más no así en su capacidad de carga máxima, basándose en este cruce de resultados se obtiene que las muestras con fibras plásticas recicladas tipo “PET 10*0.5 cm” y “PET 5*0.2 cm” son las únicas que presentaron un aporte para el ensayo a flexión de los elementos. Los porcentajes de mejoría obtenidos confirman que las muestras con fibras “PET 10*0.5 cm” presentan un incremento de la capacidad de carga del 6.91%, no así en la deformación que aumenta en 10.72%; por otro lado, las muestras con fibras “PET 5*0.2cm” que presentan

aproximadamente la mitad de mejoría en la capacidad de carga con respecto a las fibras “PET 10*0.5 cm pero 15% más capacidad ante la deformación. Concluyendo en base a los resultados, se afirma que las fibras plásticas tipo PET son las que mejor se comportaron frente al ensayo a flexión con respecto a las fibras tipo HDPE Y LDPE. Indistintamente del tipo de fibra plástica que se utilice, se determina que la rectangularidad es un factor preponderante a tomar en cuenta cuando se desea incluir fibras plásticas recicladas dentro del hormigón. Adicionalmente, basándonos en las fisuras creadas al momento de la falla en el ensayo a flexión, se afirma que las fibras tipo “PET 5*0.2cm” pueden ser utilizadas para controlar fisuración por retracción en elementos ya que la fisura presentada es imperceptible tomando en cuenta que esta fue creada en el momento crítico del ensayo del elemento. De cualquier manera, estas fibras no pueden ser utilizadas para reforzar elementos estructurales por la incertidumbre que a pesar de los resultados aún existe sobre el comportamiento de estas fibras.

Para finalizar, no se presenta un solo tipo de fibra plástica reciclada adecuado, sino que dependiendo de la necesidad estructural a ser reforzada se tienen dos opciones, si la necesidad requiere que la fibra plástica reciclada aporte a la capacidad de carga máxima se puede utilizar la fibra tipo “PET 10*0.5 cm”, caso contrario si los requerimientos caen en reforzar su capacidad de deformación se puede utilizar la fibra tipo “PET 5*0.2cm”.

6.2. Recomendaciones

La principal recomendación es analizar factores que no fueron tomados en cuenta en la planificación inicial de este proyecto y que a medida que se elaboró la tesis se consideraron importantes, entre los cuales tenemos:

- **Plastificante**

El plastificante representaría un beneficio dentro de la trabajabilidad por ende se garantizaría la menor presencia de fisuras o espacios internos en el hormigón creados por las fibras plásticas recicladas que en este proyecto no pudieron ser controladas.

- **Rectangularidad de las fibras plásticas recicladas**

Posterior a los resultados obtenidos, se evidenció que existe una estrecha relación entre el tamaño de las fibras y los resultados de las muestras, por lo que estudios posteriores deberían ser encaminados para determinar la relación de rectangularidad más adecuada.

Adicionalmente, se recomienda realizar un análisis más profundo de la influencia de la geometría de las fibras, así como una comparación de la geometría de la fibra con respecto a las fibras comerciales.

- **Dosificación de fibras plásticas recicladas**

Dado que en este proyecto la dosificación fue fija, ya que el objetivo principal era la comparación entre los tipos de plásticos, se recomendaría que este factor sea tomado en cuenta como una variable dentro de futuros experimentos para analizar el cambio de comportamiento de los elementos que incluyan fibras plásticas recicladas.

Otra recomendación es realizar los elementos a ensayar en un ambiente controlado para que factores medioambientales no alteren los datos que se van a obtener y así que las variaciones que se presenten en los resultados sean únicamente debido a la presencia de las fibras plásticas recicladas. Al momento de ensayar los elementos, se recomienda el uso

de equipos de medición electrónicos ya que estos presentan los resultados de forma digital evitando así el posible error del ojo humano al momento de levantar los datos.

Por otro lado, si se desea realizar una producción de fibras plásticas a gran escala, se debería generar la automatización de los procesos de obtención de la fibra plástica reciclada, garantizando así la obtención de una mayor cantidad de fibra estandarizada en tiempos adecuados.

Finalmente, para futuros análisis que partan de este documento, se recomienda analizar el comportamiento de elementos que se encuentren integrados no únicamente por un solo tipo de plástico sino por varios tipos de plásticos dentro del mismo además de realizar estudios sobre la adherencia que tiene cada tipo de plástico con respecto al hormigón, ya que en este estudio fue un parámetro imposible de determinar y es importante tomar en cuenta dentro del diseño del experimento.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, J. (1985). *MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN* (pp. 206-207). Avenida del Bosque.
- ASTM C39. (2014). *STANDARD TEST METHOD FOR COMPRESSIVE STRENGTH OF CYLINDRICAL CONCRETE SPECIMENS*. ASTM International.
- ASTM C192. (2006). *STANDARD PRACTICE FOR MAKING AND CURING CONCRETE TEST SPECIMENS IN THE LABORATORY*. ASTM International.
- ASTM C1609. (2010). *STANDARD TEST METHOD FOR FLEXURAL PERFORMANCE OF FIBER - REINFORCED CONCRETE (USING BEAM WITH THIRD-POINT LOADING)*. ASTM International.
- ASTM D7611. (2020). *Standard Practice for Coding Plastic Manufactured Articles for Resin Identification*. ASTM International.
- Betancourt, S. (2017). *MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN* (pp. 154-159). Editorial Samuel Feijóo, Universidad Central «Marta Abreu» de Las Villas.
- Giraldo, O. (2006). *DOSIFICACION DE MEZCLAS DE HORMIGÓN, METODOS ACI 211.1, WEYMOUTH, FULLER, BOLOMEY, FAURY*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE MINAS.
- Gómez, J. (2008). *MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN* (p. 48). Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.
- González, L. O. (2008). *CONCEPTOS GENERALES SOBRE LOS AGREGADOS* (pp. 11-12). UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE PALMIRA.
- Mendieta, E. (2016). *DISEÑO DE MEZCLA PARA HORMIGON SIMPLE DE 240 KG/CM2 UTILIZANDO FIBRAS DE MATERIALES RECICLADO (BOTELLAS DE PLASTICO)*. Universidad Católica de Cuenca.
- SIKA. (2019a). *HOJA TÉCNICA DE PRODUCTO SikaFiber® Force PP-48 / RAD-48s*. SIKA.
- SIKA. (2019b). *HOJA TÉCNICA DE PRODUCTO SikaFiber*. SIKA.
- SIKA. (2019c). *SikaFiber® CHO 65/35 NB*. SIKA.
- Smith, W. (1999). *FUNDAMENTOS DE LA CIENCIA E INGENIERIA DE MATERIALES* (Tercera). McGraw-Hill.

Universidad Centroamericana José Simeón Cañas de El Salvador. (2006).

FABRICACIÓN DEL CONCRETO CON MEZCLADORA. UCA de El Salvador.

<http://www.uca.edu.sv/mecanicaestructural/materias/materialesCostruccion/guias>

Lab/ensayoConcretoFresco/FABRICACION%20DE%20CONCRETO.pdf