



**FACULTAD DE POSTGRADO
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y
MECÁNICAS DEL CONCRETO CON LA INTRODUCCIÓN DE
FIBRAS DE PLÁSTICO RECICLADAS.**

SUSTENTADO POR:

NOUS ELOHIM GARCIA PACHECO.

PREVIA INVESTIDURA AL TÍTULO DE

**MÁSTER EN
INGIENERÍA DE ESTRUCTURAS**

TEGUCIGALPA, FRANCISCO MORAZAN, HONDURAS, C.A.

JULIO, 2019

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

UNITEC

FACULTAD DE POSTGRADO

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTOR

MARLON ANTONIO BREVÉ REYES

SECRETARIO GENERAL

ROGER MARTÍNEZ MIRALDA

VICERRECTORA ACADÉMICA

DESIREE TEJADA

DECANO DE LA FACULTAD DE POSTGRADO

CLAUDIA MARIA CASTRO VALLE

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y
MECÁNICAS DEL CONCRETO CON LA
INTRODUCCIÓN DE FIBRAS DE PLÁSTICO
RECICLADAS.**

**TRABAJO PRESENTADO EN CUMPLIMIENTO DE LOS
REQUISITOS EXIGIDOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE
MÁSTER EN
INGIENERÍA DE ESTRUCTURAS**

ASESOR

MARCO ANTONIO LOPEZ CARRASCO.

MIEMBROS DE LA TERNA:

**MINA CECILIA GARCÍA
JULIO LÓPEZ ZERÓN**

FACULTAD DE POSTGRADO**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO
CON LA INTRODUCCIÓN DE FIBRAS DE PLÁSTICO RECICLADAS.****AUTOR.****NOUS ELOHIM GARCÍA PACHECO.****RESUMEN.**

La presente investigación tiene como propósito evaluar si la introducción de fibras de plástico reciclado y aditivo superplastificante como agregados a una mezcla de concreto base con una dosificación 1:2:3 (3,000 psi), incide en sus propiedades físicas y mecánicas, evaluando específicamente su resistencia a la compresión, flexión y microfisuramiento, realizando ensayos en testigos experimentales, siendo estos 4 cilindros y 2 viguetas por cada una de las 7 dosificaciones experimentales, en las cuales se establecerá y mantendrá una mezcla de concreto base y se variará únicamente la introducción de fibra de plástico reciclado y la inserción del aditivo, para poder obtener la carga máxima (P), aplicada por la máquina de ensayos a compresión y flexión a los cinco, siete y veintiocho días en los testigos de cada dosificación y de este modo aplicar las metodologías para calcular la resistencia a la compresión y flexión. También se evaluarán las microfisuras luego de la aplicación de la carga máxima (P) a los 28 días en la vigueta, con estos resultados fue posible evaluar las propiedades físicas y mecánicas de las diferentes dosificaciones, permitiendo realizar un análisis comparativo entre las mismas, determinando que la dosificación con la introducción de 2.5 kg/m³ a una mezcla de concreto base, fue la única en mantener la resistencia a la compresión y potenciar la resistencia a la flexión a la vez que redujo el microfisuramiento en comparación con la dosificación de control, por lo que se recomienda su uso para potenciar las propiedades del concreto. También se observó que las dosificaciones con la inserción de fibra plástica reciclada más aditivo obtuvieron resistencias menores a sus similares sin aditivo y a la dosificación de control, por lo que no se recomienda uso.

Palabras claves: (Concreto, Fibras, Plásticas, Propiedades, Reciclado).

GRADUATE SCHOOL

EVALUATION OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE WITH THE ADDITION OF RECYCLED PLASTIC FIBERS.

**AUTHOR.
NOUS ELOHIM GARCIA PACHECO.**

ABSTRACT.

The purpose of this research is to evaluate whether the addition of plastic fibers along with a superplasticizer to a mixture of base concrete with a dosage 1: 2: 3 (3,000 psi), affects its physical and mechanical properties, specifically evaluating its resistance to compression, bending and microcracking; performing a series of tests on experimental dummies: 4 cylinders and 2 joists for each of the 7 experimental dosages, in which a mixture of base concrete has been set and maintained with the variable being the addition of the recycled plastic fibers and additive, in order to maintain the maximum load (P), applied by the testing equipment with a compression and flex set to 5, 7 and 28 days in each dummy. In this way, the specific methodologies are applied to calculate the resistance to compression and bending. The microcracks were also evaluated at the joints after the maximum load (P) was applied for 28 days, making it possible to evaluate the physical and mechanical properties of each test dummy, allowing for a thorough comparative analysis and determining that the dosage with the introduction of 2.5 kg / m³ to a mixture of base concrete, was the only one to resist the compression and enhance the resistance to flex while reducing the microcracking, therefore confirming that its use is recommended to enhance the properties of concrete. It was also observed that the dosages with the insertion of recycled plastic fibers plus additive obtained lower resistances to their similar without additive and to the control dosage, for which reason no use is recommended.

Key words: (Concrete, fibers, plastics, properties, recycled).

DEDICATORIA

Dedico esta investigación a los progenitores del autor, que de una u otra forma han estado siempre motivándolo para lograr todos los objetivos planteados en su vida.

AGRADECIMIENTO

Gracias al catedrático, Dr. Marco Antonio, por brindar sus conocimientos y sacar de dudas acerca de esta investigación, ya que, si dichas dudas nunca hubieran sido dilucidadas de manera eficiente, este anteproyecto no hubiera podido ser culminado.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN | 1 |
| 1.1 Introducción | 1 |
| 1.2 Antecedentes del Problema | 2 |
| 1.3 Definición del Problema..... | 4 |
| 1.3.1 Definición del Problema..... | 4 |
| 1.3.2 Preguntas de Investigación. | 4 |
| 1.4 Objetivos del Proyecto | 5 |
| 1.4.1 Objetivo General. | 5 |
| 1.4.2 Objetivo Específicos. | 5 |
| 1.5 Justificación..... | 5 |
| CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO | 7 |
| 2.1 Análisis de la Situación Actual | 7 |
| 2.2 Teorías de Sustento | 10 |
| 2.2.1 Análisis de las metodologías | 10 |
| 2.2.2 Antecedentes de las metodologías..... | 12 |
| 2.2.3 Análisis crítico de las metodologías..... | 13 |
| 2.3 Conceptualización | 15 |
| 2.4 Instrumentos Utilizados..... | 20 |
| CAPÍTULO III. METODOLOGÍA | 21 |
| 3.1 Diseño de la Investigación. | 21 |
| 3.2 Diagrama Sagital..... | 24 |
| 3.3 Definición operacional de las variables. | 24 |
| 3.4 Hipótesis..... | 28 |
| 3.5 Datos de las dosificaciones. | 29 |
| CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS | 33 |
| 4.1 Resultados. | 33 |
| 4.1.1 Resultados de las dosificaciones experimentales. | 33 |
| 4.1.2 Resistencia a la compresión y a la flexión calculados en los testigos experimentales. | 34 |
| 4.1.3 Microfisuramiento medido en los testigos experimentales. | 36 |
| 4.2 Interpretación y análisis de resultados. | 37 |

| | |
|--|----|
| CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 41 |
| 5.1 Conclusiones | 41 |
| 5.2 Recomendaciones..... | 45 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 48 |
| ANEXOS | 50 |
| Anexo 1. Cilindros experimentales. | 50 |
| Anexo 2. Viguetas Experimentales. | 51 |
| Anexo 3. Máquina de Ensayos, Adaptada para Realizar Ensayo a Compresión de un Cilindro Experimental. | 52 |
| Anexo 4. Máquina de Ensayos, Adaptada para Realizar Ensayo a Flexión de una Vigüeta Experimental. | 53 |
| Anexo 5. Falla Frágil en la Vigüeta Experimental, Luego de la Aplicación de la Carga Máxima (P) en la Máquina de Ensayos a Flexión, Elaborada con la Dosificación de Control..... | 54 |
| Anexo 6. Falla Dúctil en la Vigüeta Experimental, Luego de la Aplicación de la Carga Máxima (P) en la Máquina de Ensayos a Flexión, Elaborada con una Dosificación con la Introducción de Fibra Plástica Reciclada a la Mezcla de Concreto. | 54 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Fibras recicladas. | 19 |
| Figura 2. Diagrama Sagital. | 24 |
| Figura 3. Esquema de las 7 dosificaciones experimentales. | 30 |
| Figura 4. Resistencia a la compresión calculado en los cilindros experimentales F'_c en (psi). | 34 |
| Figura 5. Resistencia a la flexión calculada en las viguetas experimentales F_r, M_r en (Mpa). | 35 |
| Figura 6. Resistencia a la flexión calculada en las viguetas experimentales F_r, M_r en (Mpa). | 37 |
| Figura 7. Cilindros Experimentales. | 50 |
| Figura 8. Viguetas Experimentales. | 51 |
| Figura 9. Máquina de Ensayos, Adaptada para Realizar Ensayo a Compresión de un Cilindro Experimental. | 52 |
| Figura 10. Máquina de Ensayos, Adaptada para Realizar Ensayo a Flexión de una Vigueta Experimental. | 53 |
| Figura 11. Falla Frágil en la Vigueta Experimental, Luego de la Aplicación de la Carga Máxima (P) en la Máquina de Ensayos a Flexión, Elaborada con la Dosificación de Control. | 54 |
| Figura 12. Falla Dúctil en la Vigueta Experimental, Luego de la Aplicación de la Carga Máxima (P) en la Máquina de Ensayos a Flexión, Elaborada con una Dosificación con la Introducción de Fibra Plástica Reciclada a la Mezcla de Concreto. | 54 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Propiedades de las Fibras Recicladas. | 19 |
| Tabla 2. Dosificaciones experimentales. | 31 |
| Tabla 3. Resultados de las dosificaciones experimentales. | 33 |
| Tabla 4. Resistencia a la compresión y a la flexión calculados en los testigos experimentales. | 34 |
| Tabla 5. Microfisuramiento medido en los testigos experimentales. | 36 |

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Introducción

En la presente investigación se planteó evaluar y determinar si la introducción de fibras de plástico reciclado y aditivo superplastificante como agregados a una mezcla de concreto base con una dosificación 1:2:3 (3,000 psi), incide en sus propiedades físicas y mecánicas, evaluando y analizando específicamente la resistencia a la compresión, flexión y microfisuramiento.

La teoría indica que la introducción de dichas fibras puede ayudar a mantener la resistencia a la compresión, potenciar la resistencia a la flexión y reducir las microfisuras del concreto, para validar esto fue necesario realizar evaluaciones en testigos experimentales en forma de 4 cilindros y 2 viguetas por cada una de las 7 dosificaciones experimentales: 1 de control la cual será la mezcla de concreto base, 3 serán dosificaciones con la introducción de fibra de plástico reciclado a la mezcla de concreto base y 3 serán dosificaciones con la introducción de fibra de plástico reciclado más aditivo superplastificante a la mezcla de concreto base.

Se obtuvo la carga máxima (P), aplicada por la máquina de ensayos a compresión y a flexión a los cinco, siete y veintiocho días en los testigos experimentales de cada dosificación, para poder aplicar las metodologías y de este modo obtener la resistencia a la compresión (F_c) y la resistencia flexión o módulo de rotura (F_r , M_r). También se evaluarán las microfisuras existentes luego de la aplicación de la carga máxima a flexión (P) a los 28 días en la vigueta. Con todos estos cálculos fue posible evaluar las propiedades físicas y mecánicas de las diferentes dosificaciones, permitiendo realizar un análisis comparativo entre las mismas, logrando determinar una dosificación con la introducción de fibra de plástico reciclado como agregado a una mezcla de concreto base, que permite mantener y potenciar las propiedades físicas y mecánicas elementales del concreto convencional.

1.2 Antecedentes del Problema

En el pasado el uso de fibras no plásticas para reforzar materiales que eran menos resistentes a flexión que a compresión era una práctica común, estas fibras podrían ser la paja, crin de caballo y otras que se usaban para reforzar materiales como los ladrillos de arcilla y molduras de yeso (ACI Comité 544, 2002) por lo que la introducción de fibras de plástico reciclado a una mezcla de concreto base, debería de potenciar la resistencia a la flexión del concreto en este caso modificado.

En 1960 se llevaron a cabo los primeros estudios teóricos de concreto con la introducción de fibras metálicas brindando buenos resultados en cuanto a la reducción de las microfisuras del concreto y potenciando su resistencia a la tracción (Bentur, Arnon; Mindess, 2007) podríamos decir que es el origen al cambio que ahora nos planteamos hacer el cual es la inserción de fibras de plástico recicladas.

Luego de estos primeros estudios sobre el uso de fibras para mejorar las propiedades del concreto, se observó que estas lograban reducir y controlar en buena medida las microfisuras en el concreto con la inserción de fibras en su mezcla, esto provoco que en 1967 surgiera un interés mayor por descubrir el efecto en las propiedades del concreto al introducir en su mezcla fibras de diferentes tipos, con resultados satisfactorios descubriendo que en la mayoría de casos las fibras potencian principalmente la resistencia a la flexión y una reducción del microfisuramiento a la vez que mantenían la resistencia a la compresión (ACI-544, 2010).

El uso de fibras plásticas comerciales es algo relativamente novedoso que va en aumento, estudios realizados con la introducción de fibras plásticas comerciales, indican que estas fibras ayudan a evitar las microfisuras por retracción en el concreto y evita su propagación a la vez que potencia su resistencia a la flexión (Qian & Stroeven, 2000).

A pesar de que teóricamente el uso de fibras no aumenta significativamente la resistencia a la compresión del concreto, esta es compensada por evitar el microfisuramiento del mismo y potenciar su resistencia a la tracción o flexión, por lo que los estudios sobre el uso de fibras de plástico comerciales va en aumento (Bentur, University of British Columbia, Mindess, & University of British Columbia, 2007) por ello se planteó no comprar dichas fibras plásticas si no producirlas al reutilizar botellas plásticas desechadas.

Se han realizado estudios para verificar cual es la introducción adecuada de fibras sintéticas para aminorar las microfisuras del concreto, logrando mostrar dosificaciones con la introducción de dichas fibras que permitieron reducir las microfisuras producidas por contracción plástica del concreto (Aymar, 2007).

En nuestra realidad nacional se tiene poca información sobre estudios de dosificaciones con la introducción de fibras de plástico reciclado. Sin embargo, esto puede ayudar a desencadenar un interés por conocer más sobre la incidencia de dicha introducción en las propiedades del concreto.

1.3 Definición del Problema.

1.3.1 Definición del Problema.

Se planteó evaluar si la introducción de fibras de plástico reciclado y aditivo superplastificante como agregado a una mezcla de concreto, incide en sus propiedades físicas y mecánicas, para ello se evaluará y analizará la resistencia a la compresión, flexión y microfisuramiento, en los distintos testigos elaborados con las diferentes dosificaciones experimentales en las cuales se establecerá y mantendrá una mezcla de concreto y se variará únicamente la introducción de fibra de plástico reciclada y la adición del aditivo superplastificante, para obtener una o varias dosificaciones de concreto en este caso modificado que mantenga o potencie las propiedades del concreto convencional.

1.3.2 Preguntas de Investigación.

- 1) ¿Permitirá la introducción de fibras de plástico reciclado como agregado a una mezcla de concreto, mantener o potenciar sus propiedades físicas y mecánicas, evaluando y analizando su resistencia a la compresión, flexión y microfisuramiento, en los testigos experimentales?

- 2) ¿Permitirá la introducción de fibras de plástico reciclado como agregado a una mezcla de concreto más aditivo superplastificante, mantener o potenciar sus propiedades físicas y mecánicas, evaluando y analizando su resistencia a la compresión, flexión y microfisuramiento, en los testigos experimentales?

1.4 Objetivos del Proyecto

1.4.1 Objetivo General.

Determinar si la introducción de fibras de plástico reciclado y aditivo superplastificante como agregados a una mezcla de concreto, incide en sus propiedades físicas y mecánicas, para obtener una o varias dosificaciones de concreto en este caso modificado que mantenga o potencie las propiedades del concreto convencional.

1.4.2 Objetivo Específicos.

- 1) Determinar si la introducción de fibras de plástico reciclado como agregado a una mezcla de concreto, incide en sus propiedades físicas y mecánicas, evaluando y analizando su resistencia a la compresión, flexión y microfisuramiento, en los testigos experimentales.
- 2) Determinar si la introducción de fibras de plástico reciclado como agregado a una mezcla de concreto más aditivo superplastificante, incide en sus propiedades físicas y mecánicas, evaluando y analizando su resistencia a la compresión, flexión y microfisuramiento, en los testigos experimentales.

1.5 Justificación

El concreto es el material de construcción más utilizado y por lo tanto sus propiedades mecánicas y físicas son conocidas por la mayoría de profesionales que se involucran en este mundo de la construcción como ser ingenieros y arquitectos, como se conoce el concreto es un material con alta resistencia a la compresión y baja resistencia a la flexión, esta baja resistencia lo hace propenso a la aparición de microfisuras, las cuales hasta son aceptadas cuando son pequeñas y se consideran propias del concreto. Es por esta razón que en este trabajo se planteó la necesidad de mejorar la resistencia menos fuerte del concreto como ser su resistencia a la flexión y ayudar así a reducir las microfisuras en el concreto, pero manteniendo al mismo tiempo y

porque no potenciando su resistencia a la compresión, es por esta razón que se inició la búsqueda de un agregado y un aditivo que nos permitiera lograr esta consigna ya sea combinados o por separado y se encontró con intentos ancestrales por lograr este mismo cometido con la inserción de diversas fibras a materiales que como el concreto son fuertes a compresión y débiles a flexión, como ser la arcilla para hacer ladrillos se agregaban fibras de paja para su reforzamiento y la crin de caballo se utilizó para reforzar molduras de yeso (ACI Comité 544, 2002).

Por esta razón se planteó evaluar si la introducción de fibras de plástico reciclado a partir de botellas reutilizadas las cuales en un mundo tan consumista resulta relativamente fáciles de conseguir y aditivo superplastificante como agregados a una mezcla de concreto, incide en sus propiedades físicas y mecánicas, para ello se evaluará y analizará la resistencia a la compresión, flexión y microfisuramiento, en los distintos testigos elaborados con las diferentes dosificaciones experimentales en las cuales se establecerá y mantendrá una mezcla de concreto y se variará únicamente la introducción de fibra de plástico reciclada y la adición del aditivo superplastificante, para obtener una o varias dosificaciones de concreto en este caso modificado que mantenga o potencie las propiedades del concreto convencional. Es decir, dicha dosificación o dosificaciones tendrán una mejor resistencia a la flexión, una reducción considerable en las microfisuras de este concreto modificado, pero manteniendo o potenciando la resistencia a la compresión por la que el concreto convencional es conocido.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Análisis de la Situación Actual

El concreto es el material de construcción más utilizado, sin embargo, las dosificaciones que conocemos no han variado considerablemente y nos hemos acostumbrado poco a poco a usar las mismas mezclas, las que conocemos y están descritas y probadas sus propiedades físicas y mecánicas. Se han realizado estudios sobre la introducción de nuevos agregados al concreto convencional siendo los que mejor aceptación han tenido los aditivos, pero en si las fórmulas no han sufrido cambios significativos que permitan potenciar las propiedades del concreto (González, Antonio, Loyola, & Miguel, 2016) es por esta razón que en esta investigación se planteó evaluar las propiedades físicas y mecánicas de una dosificación con la introducción de fibras de plástico recicladas del tipo PET o mejor conocido como tereftalato de polietileno y aditivo superplastificante, como agregados a una mezcla de concreto base, se pensó en fibras ya que desde tiempos ancestrales estas se han utilizado para mejorar las propiedades de materiales que son débiles a flexión y fuertes a compresión, como es el caso del concreto (ACI Comite 544, 2002).

luego surgió la idea de que estas fibras fueran de plástico reciclado debido a que es el material sintético más moldeable y utilizado en diversidad de productos en el mundo gracias a su gran maleabilidad, sin embargo, luego que este ha cumplido su función pasa a ser un residuo que no puede ser absorbido rápidamente por la naturaleza y su proceso de descomposición puede llegar a tardar varios siglos, lo cual para este estudio va de maravilla ya que sus propiedades físicas y mecánicas se mantienen intactas en un largo periodo de tiempo, sumado a que es un material fácil de adquirir, incluso de manera gratuita (NAPCOR, 2010).

Además de la introducción de la fibra de plástico reciclada se experimentara con la

inserción de dicha fibra más un aditivo superplastificante ya que se recomienda hacerlo de este modo para mezclas de concreto que contengan fibras, no solo para mejorar sus propiedades si no para mejorar su trabajabilidad es decir reducir el esfuerzo humano requerido para manipular el concreto al mejorar considerablemente su fluidez, en este caso se implementó (ADMIX F-5) el cual también promete lograr que las dosificaciones obtengan resistencias altas en menor tiempo. (Burón et al., 2006).

Mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto convencional, es una tarea que debe de impulsarse en un mundo vanguardista en el que ningún campo puede retrasarse y trabajar en un material tan utilizado como es el concreto en el campo de la construcción es vital ya que pequeñas mejoras a sus propiedades pueden significar grandes avances en cuanto a las posibilidades estructurales y constructivas (Guzmán, y otros, 2017) .

Por esta razón que la presente investigación busca determinar una o varias dosificaciones con la introducción de fibras de plástico reciclado y aditivo superplastificante a una mezcla de concreto base, permitiendo mantener o potenciar las propiedades físicas y mecánicas del concreto en este caso modificado, como ser su resistencia a compresión y a flexión, permitiendo al mismo tiempo ayudar a reducir las microfisuras tan molestas del concreto, fusionando los dos productos más utilizados en sus respectivas áreas en pro del campo de la construcción al buscar mantener o mejorar las propiedades anteriormente descritas, con la inserción de agregados innovadores y factibles de conseguir dejando a un lado la definición conceptual de que los únicos agregados en una mezcla de concreto son los agregados finos (Arena) y los gruesos (Grava) (Petrou et al., 2000) mirando como agregados adicionales en este caso las fibras de plástico recicladas del tipo PET o mejor conocido como tereftalato de polietileno y el aditivo superplastificante.

En la actualidad ha surgido un interés en la producción de concretos innovadores y sostenibles, lo que se ha derivado en motivar diversas investigaciones en las cuales se trata de sustituir algunas materias primas o de agregar nuevos elementos como agregados al diseño de un concreto convencional, logrando tener concretos modificados que luego son evaluados en sus propiedades físicas, mecánicas y en algunos casos fisicoquímicas y ver si los resultados de alterar la dosificación original es favorable o no (Guzmán, y otros, 2017).

En esta investigación se introducirá fibras de plástico reciclado y en algunos caso un aditivo superplastificante (ADMIX F-5) para probar con distintas dosificaciones experimentales, que se compararan con una dosificación de control, que será una mezcla de concreto convencional 1:2:3 (3,000 psi) sin introducción de ningún tipo de fibras o aditivos, al cual se tratara de emular o superar, esto se cree posible ya que los estudios teóricos así lo indican, especialmente el estudio realizado por (González, Antonio, Loyola, & Miguel, 2016) en los que realizaron estudios sobre la inserción de fibras plásticas comerciales en los cuales se mantuvo la resistencia a la compresión y una potenciación de la resistencia ala flexión. Para determinar si la introducción de fibras de plástico recicladas mantiene y potencian las características del concreto se realizaron ensayos en los testigos experimentales para determinar la carga máxima (P) en lb aplicada por la máquina de ensayos a compresión y a flexión, para dar paso a la aplicación de las dos metodologías básicas para evaluar las propiedades del concreto.

Las Metodologías son el módulo de rotura para determinar la resistencia a la flexión en las viguetas (Normativa ASTM C-78, 2002) y en los cilindros se utilizara la resistencia a la compresión del concreto (Normativa ASTM C-39, 2016) también se verificará que dichas dosificaciones que cumplan con los resultados esperados y también ayuden a reducir las microfisuras en el concreto modificado, ya que los estudios reconocen en su mayoría que la

introducción de fibras reduce el microfisuramiento y si se introduce en cantidad adecuada ayuda a que el concreto en este caso modificado tenga un comportamiento más dúctil en comparación al concreto convencional (Adebar et al., 1997) se cree esto se debe en gran medida al aumento de resistencia a la tracción o flexión que aporta la introducción de fibras a la mezcla de concreto, reduciendo el tamaño y espesor de las microfisuras (Kwak et al., 2002).

El uso adecuado de las metodologías y normas nos permitirán determinar dosificaciones que mantengan y potencien las características físicas y mecánicas de concreto convencional al introducir como agregados ya sea las fibras de plástico reciclado o las mismas fibras más el aditivo superplastificante como un agregado adicional a una mezcla de concreto base. Brindando dosificaciones innovadoras en nuestra realidad nacional.

2.2 Teorías de Sustento

2.2.1 Análisis de las metodologías

Se implementaron 2 metodologías, las cuales se enumeran a continuación: #1 la de resistencia a la compresión del concreto (Normativa ASTM C-39, 2016) y #2 el módulo de rotura o resistencia a la flexión (Normativa ASTM C-78, 2002) las cuales tienen como finalidad ayudar a poder determinar una o varias dosificaciones con la introducción de fibras de plástico reciclado y aditivo superplastificante como agregados a una mezcla de concreto, que permita mantener o potenciar las propiedades físicas y mecánicas elementales de dichas dosificaciones de concreto modificado, al permitir calcular y evaluar su resistencia a la compresión y a la flexión, también se verificará que estas dosificaciones ayuden a reducir las microfisuras tan indeseables en el concreto.

Para la aplicación de dichas metodologías fue necesario realizar evaluaciones en testigos experimentales en forma de 4 cilindros y 2 viguetas, cabe destacar que para poder realizar un

estudio de diferencia de medias sería necesario realizar evaluaciones en más testigos experimentales pero para acertar en que cantidad de fibra se encuentran los mejores resultados y posteriormente realizar un estudio más a fondo con los testigos experimentales requeridos para realizar diferenciación de medias y poder obtener modelos matemáticos precisos, tal y como lo indican las normas (ASTM C-78, 2002) y (ASTM C-39, 2016) por cada una de las 7 dosificaciones experimentales (Ver figura 3):

(1) de control la cual será una mezcla de concreto base con una relación 1:2:3 (3000 psi), (3) serán tres dosificaciones con la introducción de fibra de plástico recicladas del tipo PET en cantidades de 2.5 kg/m³, 4.0 kg/m³ y 9.0 kg/m³ a la mezcla de concreto base (3000 psi) debido a que estas cantidades de fibra del tipo PET son las que mejores resultados brindaron en los diferentes estudios realizados por diferentes investigadores como ser (González, Antonio, Loyola, & Miguel, 2016) y (3) serán tres dosificaciones con la introducción de fibra de plástico reciclado del tipo PET más aditivo superplastificante (ADMIX F-5) a la mezcla de concreto base (3000 psi), para poder obtener la carga máxima (P) en lb, aplicada por la máquina de ensayos a compresión y a flexión a los cinco, siete y veintiocho días en los testigos experimentales de cada dosificación, los días que se seleccionaron fue en base a determinar si habría diferencia en la obtención de resistencias mayores en menor tiempo y en base a que se debía brindar resultados de la investigación para verificar si esta brindaba resultados positivos en base a lo esperado teóricamente, por tanto se eligió la prueba de los 5 y 7 días siendo la de 5 días por evitar que las pruebas chocaran con día domingo, en que el laboratorio se encuentra cerrado, y la de los 28 días porque el concreto alcanza 99% de su resistencia total en dicho tiempo.

Estos resultados sirvieron para poder aplicar las 2 metodologías y de este modo obtener la resistencia a la compresión y a la flexión de la siguiente manera: #1 la resistencia a la

compresión del concreto F_c en (psi) siendo su fórmula P/A (Normativa ASTM C-39, 2016) la cual obtendremos al dividir carga máxima (P) aplicada en el cilindros experimental, entre el área (a) de las probeta cilíndrica y la metodología #2 será el módulo de rotura F_r, M_r en (Mpa) siendo su fórmula $P \times L/b \times d^2$ (Normativa ASTM C-78, 2002) la cual obtendremos al multiplicar carga máxima (P) aplicada en las viguetas experimentales, por la longitud de separación de los apoyos (L) entre el ancho de la vigueta (b) por la altura al cuadrado de la vigueta (d). También se evaluarán las microfisuras existentes luego de la aplicación de la carga máxima (P) a los 28 días, en la máquina de ensayos a flexión en el testigo experimental, la vigueta con (Normativa ASTM C-78).

Con todos estos cálculos y evaluaciones fue posible evaluar las propiedades físicas y mecánicas de las diferentes dosificaciones y de este modo poder realizar un análisis comparativo entre las mismas, que permita determinar una o varias dosificaciones con la introducción de fibra de plástico reciclada y aditivo superplastificante como agregados a una mezcla de concreto base, que mantengan o potencien las propiedades físicas y mecánicas elementales del concreto convencional, como ser su resistencia a flexión y a compresión, a la vez que ayude a reducir las microfisuras tan indeseables del concreto.

2.2.2 Antecedentes de las metodologías

En el pasado se han realizado intentos por mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto con la inserción de nuevos materiales al diseño de concreto convencional, usando en dicha época metodologías muy primitivas e empíricas, por ejemplo la manera de comprobar si dichas inserciones a la dosificación habían dado efecto era mediante pruebas empíricas y análisis en muchos casos subjetivos y más cualitativos que cuantitativos (ACI Comite 544, 2002) pero que a fin de cuentas sirvieron de base a las metodologías que tenemos actualmente para

comprobar científicamente si la inserción de fibra plástica reciclada en nuestro caso a una mezcla de concreto base, incide en sus propiedades físicas y mecánicas.

Las metodologías que utilizaremos se han venido desarrollando desde 1898 por ASTM International (American Society for Testing and Materials) la cual es una de las organizaciones de normativas más grandes del mundo y que ha permitido crear y venir desarrollando y actualizando las normativas y metodologías que se implementaron en este trabajo y en trabajos previos, debido a que estas normas y metodologías son mundialmente aceptadas y usadas comúnmente para trabajos de investigación, proyectos de desarrollo, sistemas de calidad comprobación y aceptación de nuevos productos por dar algunos ejemplos. (International, 2019).

Fue hasta 1960, que se realizaron estudios teóricos aplicando metodologías que sirvieron de base a las metodologías que actualmente utilizamos para determinar el efecto de la introducción de fibras de plástico reciclado y aditivo superplastificante a una mezcla de concreto, solo que para ese entonces se estaba experimentando, evaluando y analizando la inserción de fibras de acero. (Bentur, Arnon; Mindess, 2007).

En 2007 se implementaron las metodologías que utilizaremos en esta investigación, apegadas a las normas ASTM de la época en estudios de inserción de fibras metálicas y no metálicas al concreto convencional (Sivakumar & Santhanam, 2007).

Uno de los estudios más recientes fue el de 2016 en el cual se implementaron metodologías que dieron paso a las que se utilizaron en este trabajo, con la normativa actualizada de ASTM , en el cual se experimentó con la inserción de fibras de plástico comerciales de la marca Sika a una mezcla de concreto (González, Antonio, Loyola, & Miguel, 2016).

2.2.3 Análisis crítico de las metodologías

Si analizamos las metodologías utilizadas las cuales son el módulo de rotura para hacer

pruebas en las viguetas (Normativa ASTM C-78, 2002) y para las pruebas en cilindros se utilizará la de resistencia a la compresión del concreto (Normativa ASTM C-39, 2016) al ser metodologías y normas mundialmente aceptadas y en constante revisión y actualización, se puede afirmar que poseen un alto grado de precisión, se buscó con base en parámetros dictados por las mismas normas tener el más alto grado de precisión posible, ya que todas las pruebas se realizaron en el mismo laboratorio para tener el mismo equipo y por tanto misma calibración, esto sumado a que todas las pruebas tuvieron el mismo tiempo de secado desde la pila donde estaban sumergidas hasta realizarse el ensayo, también suma que el operador del equipo fue la misma persona y que en cada dosificación se tomó la mezcla necesaria para la elaboración de los testigos experimentales, es decir se calculó la cantidad apropiada para no tener que hacer más mezcla por cada dosificación, esto nos brinda un coeficiente de variación según las normas ASTM de 5.7% por lo que los resultados entre las pruebas entre una misma dosificación no debería de diferir en un 16% (International, 2019) esto es vital ya que lo que menos se espera es obtener resultados espurios al calcular el momento de rotura en las viguetas y la resistencia a la compresión en los cilindros, además a fin de evitar un sesgo se midió y se pesó todos los especímenes o testigos experimentales a probar de modo que cumplieran con sus respectivas normativas tanto en las viguetas como en los cilindros.

Las metodologías podrían verse afectadas por los instrumentos y maquinas utilizadas para obtener los resultados de los testigos experimentales por cada dosificación, la máquina podría presentar problemas debido al mal mantenimiento y el estado en que se encuentren sus elementos de medición, esto podría ser una gran limitante en el caso que la máquina que mide la carga máxima (P) a flexión y compresión se encuentre en mal estado ya que con dichos resultados se calcula la resistencia a la compresión y el módulo de rotura o resistencia a la

flexión de las distintas dosificaciones experimentales. En dicho caso se deberá buscar otro laboratorio donde realizar las pruebas, lo cual podría generar costos adicionales, sin embargo, en el laboratorio de UNITEC se realizan mantenimientos y calibración constante de la máquina que sirve para realizar los ensayos de flexión y compresión en los testigos experimentales, cabe mencionar que es la misma máquina que realiza dichos ensayos y solo se le adaptan los accesorios según el tipo de prueba a realizarse.

Otro factor para considerar es la normalización de las fibras recicladas a utilizar en las que se deberá tener sumo cuidado ya que esto podría arrojarnos datos sesgados de lo que realmente aporta o no dicha introducción de la fibra reciclada, por tanto, se establecieron medidas y parámetros para la selección y procesamiento del material a reciclar, las cuales serán botellas de plástico cortadas en fibras o mejor dicho tiras con medidas estandarizadas, con una longitud de aproximadamente 5 cm a 6 cm y un ancho que va de los 0.5 cm a 0.6 cm aproximadamente en una maquina cortadora de papel.

2.3 Conceptualización

El concreto es una mezcla de distintos componentes dosificados de manera eficiente de cemento, agua, agregados finos y gruesos (Petrou et al., 2000) y en esta investigación se introducirá fibras de plástico reciclado del tipo (PET) o mejor conocido como tereftalato de polietileno, a partir de la reutilización botellas de plástico compuestas por este tipo de plástico PET, y en algunos casos la inserción de un aditivo superplastificante (ADMIX F-5) del proveedor “Lazarus y Lazarus” a una mezcla de concreto base con una relación 1:2:3 (3,000 psi) obteniendo dosificaciones de concreto modificado experimentales.

Se estableció que los materiales y agregados tuvieran un mismo proceder a fin de estandarizar las dosificaciones experimentales, con el fin de obtener resultados en base a la

modificación controlada de las variables y no por factores externos que provocarían obtener resultados espurios, por lo tanto, los agregados y materiales tienen un mismo proceder y un mismo proveedor de la siguiente manera:

Agregado grueso de tamaño máximo nominal de 3/8” (Cantera, “Larach y Compañía”).

Agregado fino (Triturado, “Larach y Compañía”).

Cemento Portland (Argos, “Larach y Compañía”).

Agua potable (Laboratorio de Ingeniería civil, UNITEC).

Aditivo Superplastificante (ADMIX F-5,” Lazarus y Lazarus”).

Fibras plásticas recicladas estandarizadas a partir de la reutilización botellas de plástico del tipo (PET) o mejor conocido como tereftalato de polietileno.

Las fibras de plástico reciclado fueron estandarizadas con el fin de validar la presente investigación en el que se normalizo sus dimensiones, con una longitud de aproximadamente 5 cm a 6 cm y un ancho que va de los 0.5 cm a 0.6 cm aproximadamente.

Como se mencionó anteriormente por cada dosificación se elaborarán 4 probetas cilíndricas (Normativa ASTM C-39, 2016) y 2 viguetas (Normativa ASTM C-78, 2002).

Cada cilindro posee 6 pulgadas de diámetro por 12 pulgadas de alto.

Cada vigueta es de 6 pulgadas de alto por 6 pulgadas de ancho y 24 pulgadas de largo.

Estos testigos experimentales son fundamentales ya que se evaluaron para obtener los resultados de dichas dosificaciones proporcionando datos objetivos los cuales podemos evaluar y analizar para validar esta investigación (Montgomery, 2011) a los 5,7 y 28 días, estos resultados serán evaluados con las metodologías anteriormente descritas para determinar así las dosificaciones de

concreto con la introducción de fibras de plástico reciclado y aditivo superplastificante como agregado a una mezcla de concreto base, que mantenga y potencie su características físicas y mecánicas.

A continuación, se describe mejor los siguientes agregados fundamentales para la elaboración del concreto base con la inserción de fibras de plástico recicladas y aditivo superplastificante (ADMIX F-5).

Aditivo.

Para mezclas que contengan fibras en este caso las fibras plásticas recicladas se recomienda usar un aditivo superplastificante para mejorar la trabajabilidad y fluidez de la dosificación, en este caso se utilizó (ADMIX F-5) el cual también genera que las pruebas obtengan resistencias altas en menor tiempo. (Burón et al., 2006).

ADMIX F-5: Es un aditivo reductor de agua de alto rango diseñado para aumentar la fluidez del concreto y la producción de concreto de muy alto desempeño. Admix F5 es ideal donde se exija: una alta trabajabilidad y relaciones agua/cemento mínimas para el desarrollo de altas resistencias y baja permeabilidad en el concreto. Admix F5 es completamente libre de cloruros.

Fibras.

Las fibras se han utilizado para fortalecer la resistencia a tracción del concreto principalmente, en este caso las fibras son de botellas de plástico recicladas del tipo PET, o tereftalato de polietileno y cortadas en tiras con las siguientes dimensiones, con una longitud de aproximadamente 5 cm a 6 cm y un ancho que va de los 0.5 cm a 0.6 cm aproximadamente en una máquina cortadora de papel. El concreto es débil a flexión y fuerte a compresión, es por esta

razón que se espera que esta inserción potencie dicha debilidad y no disminuya considerablemente su resistencia a la compresión, también se espera una disminución en las microfisuras en este concreto modificado (Bentur, University of British Columbia, Mindess, & University of British Columbia, 2007).

Fibras de plástico del tipo PET.

PET, o tereftalato de polietileno, es una resina plástica y el tipo más común de poliéster. El PET es un material de empaque transparente, ligero, fuerte, seguro y reciclable, haciéndolo adecuado para una amplia gama de aplicaciones. Este material es fácil de almacenar, transportar, limpiar y resellar, por lo que se ha convertido en el material más utilizado en la fabricación de botellas, vasos y contenedores desechables. (NAPCOR, 2010).

Fibras de plástico reciclado.



Figura 1. Fibras recicladas.

Tabla 1. Propiedades de las Fibras Recicladas.

| PROPIEDADES MECANICAS A 23°C | UNIDAD | ASTM | DIN | VALORES |
|---|-----------------------|--------|-------|-----------|
| PESO ESPECIFICO | gr/cm ³ | D-792 | 53479 | 1.39 |
| RESIST. A LA TRACC.(FLUENCIA / RUPTURA) | Kg/cm ² | D-638 | 53455 | 900 / -- |
| RES. A LA COMPRESION (1 Y 2 % DEF) | Kg/cm ² | D-695 | 53454 | 260 / 480 |
| RESISTENCIA A LA FLEXION | Kg/cm ² | D-790 | 53452 | 1450 |
| RES. AL CHOQUE SIN ENTALLA | Kg.cm/cm ² | D-256 | 53453 | > 50 |
| ALARGAMIENTO A LA RUPTURA | % | D-638 | 53455 | 15 |
| MÓDULO DE ELASTICIDAD (TRACCION) | Kg/cm ² | D-638 | 53457 | 37000 |
| DUREZA | Shore D | D-2240 | 53505 | 85 - 87 |
| COEF. DE ROCE ESTATICO S/ACERO | | D-1894 | | -- |
| COEF. DE ROCE DINAMICO S/ACERO | | D-1894 | | 0.2 |
| RES. AL DESGASTE POR ROCE | | | | MUY BUENA |

(González, Antonio, Loyola, & Miguel, 2016)

2.4 Instrumentos Utilizados

Estilete: Permite cortar las botellas de plástico a modo que esta pueda entrar en la máquina cortadora de papel.

Máquina cortadora de papel: La cual posee un ajuste para poder sacar las fibras en las dimensiones deseadas, cortándolas con una guillotina manual y es de esta manera se obtiene una fibra de la botella reciclada.

Máquina de ensayos de compresión: Esta carga axialmente a los cilindros experimentales a modo de determinar la carga máxima (P) a compresión en libras, a los cinco, siete y veintiocho días guardando y tabulando dichos datos obtenidos de las diferentes dosificaciones experimentales.

Máquina de ensayos de tracción o flexión: Esta carga axialmente a las viguetas experimentales a modo de determinar la carga máxima (P) a tracción o flexión en libras, a los cinco, siete y veintiocho días guardando y tabulando dichos datos obtenidos de las diferentes dosificaciones experimentales.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1 Diseño de la Investigación.

La metodología que se presenta a continuación es experimental y tiene un alcance correlacional, debido a que se pretende determinar una relación entre las variables en este caso la introducción de fibras de plástico reciclado del tipo PET, o tereftalato de polietileno y la inserción de dichas fibras más aditivo superplastificante, para observar la manera en que estas dos variables independientes se relacionan con la disminución, mantenimiento o potenciación de las características físicas y mecánicas del concreto, evaluando y analizando su resistencia a la compresión, flexión y microfisuras para comparar los resultados entre sí y una dosificación de control la cual será la mezcla de concreto base sin introducción de fibra y sin ningún aditivo. Es por esta razón que la investigación tendrá cierto valor explicativo ya que el hecho de determinar que las variables mencionadas anteriormente se relacionan aporta intrínsecamente información explicativa. (Hernández Sampieri, 2014).

Para determinar dicha relación o no de las variables fue necesario realizar estudios experimentales, en donde se ensayó con 7 dosificaciones diferentes (Ver figura 3): (1) será la dosificación testigo la cual será una mezcla de concreto base con una relación 1:2:3 (3,000 psi) sin la introducción de fibra de plástico reciclada y sin aditivo, (2) serán tres dosificaciones con la introducción de fibra de plástico reciclado a la mezcla de concreto base (3000 psi) y (3) serán tres dosificaciones con la introducción de fibra de plástico reciclado más aditivo superplastificante (ADMIX F-5) a la mezcla de concreto base (3000 psi).

Elaborando por cada dosificación 4 probetas cilíndricas (Normativa ASTM C-39, 2016) y 2 viguetas (Normativa ASTM C-78, 2002), cada dosificación se define a detalle en la tabla #2 (Ver tabla #2), en dicha tabla se muestra una hoja programada en “Excel” para obtener una

dosificación por peso para tener 1 mezcla concreto base la cual servirá como dosificación de control, luego se elaboraron 3 dosificaciones diferentes con la introducción de fibras de plástico reciclado del tipo PET como agregado a la mezcla de concreto base, dichas fibras de botellas de plástico reciclado poseen dimensiones estandarizadas, con una longitud de aproximadamente 5 cm a 6 cm y un ancho que va de los 0.5 cm a 0.6 cm aproximadamente, las cuales fueron introducidas en las siguientes proporciones 2.5 kg/m³ , 4.5 kg/m³ y 9.0 kg/3 y por último se elaboraron 3 dosificaciones diferentes con la introducción de fibras de plástico reciclado más aditivo superplastificante (ADMIX F-5) como agregados a la mezcla de concreto base, en las siguientes proporciones 2.5 kg/m³ más 10 oz (ADMIX F-5) por cada 100 lb de cemento ,4.5 kg/m³ más 10 oz (ADMIX F-5) por cada 100 lb de cemento y 9.0 kg/3 más 10 oz (ADMIX F-5) por cada 100 lb de cemento, de este modo se elaboraron las 7 dosificaciones experimentales, por cada dosificación descrita se elaborarán 4 probetas cilíndricas con 6 pulgadas de diámetro por 12 pulgadas de alto (Normativa ASTM C-39, 2016) y 2 viguetas de 6 pulgadas de alto por 6 pulgadas de ancho y 24 pulgadas de largo (Normativa ASTM C-78, 2002) los cuales serán los testigos experimentales, por cada dosificación se realizó una prueba de cono de Abrams según norma (ASTM C-143,2016) para evaluar la plasticidad de las dosificaciones.

Luego se procederá a evaluar las propiedades físicas y mecánicas de cada dosificación en los testigos experimentales realizando primero las pruebas necesarias en la máquina de ensayos que se adapta para poder medir la carga máxima (P) en lb que soporta la viga a flexión y la carga máxima (P) en lb que soporta los cilindros a compresión, a los 5 días se reventará 1 cilindro por cada dosificación, a los 7 días se reventarán 1 cilindro y 1 viga y finalmente a los 28 días se reventarán 2 cilindros y 1 viga, se tabularán estos datos, además de medir y pesar dichos testigos experimentales en cada prueba a modo de que cumplan con sus respectivas

normativas, para poder implementar las 2 metodologías para determinar las resistencia a la compresión y a la flexión en los testigos experimentales en base a la carga máxima (P) obtenida de la máquina de ensayos ya sea a compresión o flexión, dichas metodologías son:

#1 la resistencia a la compresión del concreto F'_c en (psi) (Normativa ASTM C-39, 2016) la cual obtendremos al dividir carga máxima (P) aplicada en el cilindro experimental, entre el área de las probeta cilíndrica y la metodología #2 será el módulo de rotura F_r, M_r en (Mpa) (Normativa ASTM C-78, 2002) la cual obtendremos al multiplicar carga máxima (P) aplicada en las viguetas experimentales, por la longitud de separación de los apoyos (L) entre el ancho de la vigueta por la altura al cuadrado de la vigueta (d). también se evaluarán las microfisuras existentes luego de la aplicación de la carga máxima (P) a los 28 días, en la máquina de ensayos a flexión en el testigo experimental el cual será una vigueta con (Normativa ASTM C-78) en la cual se medirá la longitud con cinta métrica y ancho de las fisuras con un pie de rey, en tres de sus caras sin tomar en consideración la cara inferior ya que esta siempre tendrá fisuras producto de la aplicación de dicha carga máxima (P).

Todos los resultados obtenidos para evaluar las propiedades físicas y mecánicas de las diferentes dosificaciones y realizar un análisis comparativo que permita determinar una o varias dosificaciones con la introducción de fibra de plástico reciclada y aditivo superplastificante como agregados a una mezcla de concreto base, permitiendo mantener o potenciar las propiedades físicas y mecánicas elementales del concreto convencional, como ser su resistencia a flexión y a compresión, a la vez que ayude a reducir las microfisuras tan indeseables del concreto.

3.2 Diagrama Sagital.

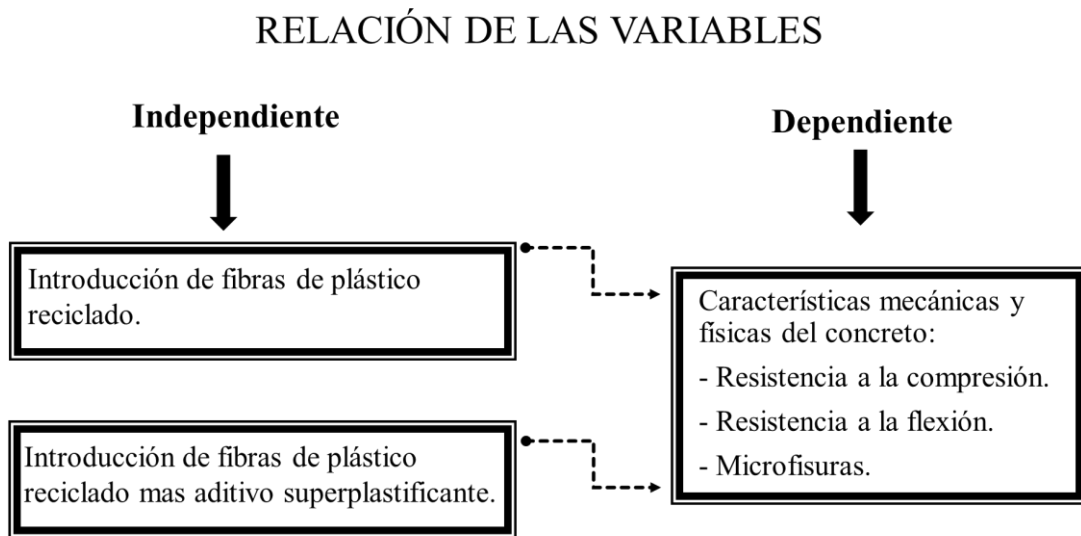


Figura 2. Diagrama Sagital.

3.3 Definición operacional de las variables.

- 1) La primera variable independiente es la introducción de fibras de plástico reciclado del tipo PET, como agregado a una mezcla de concreto base, este tipo de variable es numérica y su escala de medición es de razón, en la cual se evaluará y analizará como esta inserción incide en sus propiedades físicas y mecánicas en tres aspectos vitales los cuales son los siguientes:
 - La resistencia a la compresión, ver si esta aumenta se mantiene o disminuye en las diferentes dosificaciones con la introducción de fibra de plástico reciclado, en comparación con la dosificación de control sin inserción de fibra y sin aditivo superplastificante. Este tipo de variable es numérica y su escala de medición es de razón y la unidad en que serán medidas es en psi, su definición conceptual de compresión es la siguiente: Resistencia a la compresión en psi obtenida en un

periodo de tiempo específico.

Definición operacional, unidad de análisis y unidad de información: Se medirá la carga máxima (P) aplicada por la máquina de ensayos a compresión en lb, en los testigos experimentales los cuales son 4 probetas cilíndricas (Normativa ASTM C-39, 2016) por cada dosificación reventando uno a los cinco días, uno a los siete días y dos a los veintiocho días para con dichos resultados aplicar la primera metodología la cual permitirá obtener la resistencia a la compresión F_c en (psi), al dividir dicha carga máxima (P) entre el área de la probeta cilíndrica.

- La resistencia a la flexión, ver si esta aumenta se mantiene o disminuye en las diferentes dosificaciones con la introducción de fibra de plástico reciclado, en comparación con la dosificación de control sin inserción de fibra y sin aditivo superplastificante. Este tipo de variable es numérica y su escala de medición es de razón y la unidad en que serán medidas es en psi, su definición conceptual de compresión es la siguiente: Resistencia a la flexión en psi obtenida en un periodo de tiempo específico.

Definición operacional, unidad de análisis y unidad de información: Se medirá la carga máxima (P) aplicada por la máquina de ensayos a flexión en lb, en los testigos experimentales los cuales son 2 viguetas (Normativa ASTM C-78, 2002) por cada dosificación reventando una a los siete días y una a los veintiocho días para con dichos resultados aplicar la segunda metodología la cual es el módulo de ruptura, el cual permitirá obtener la resistencia a la flexión F_r, M_r en (Mpa), al multiplicar dicha carga máxima (P) por la longitud de separación de los apoyos (L) entre el ancho de la vigueta por la altura al cuadrado de la vigueta (d).

- Las microfisuras ver si estas aumentan se mantienen o disminuyen en las diferentes dosificaciones con la introducción de fibra de plástico reciclado, en comparación con la dosificación de control sin inserción de fibra y sin aditivo superplastificante. Este tipo de variable es numérica y su escala de medición es de razón y la unidad en que serán medidas es en cm, su definición conceptual de fisura es la siguiente: Separación en cm de una abertura largada y de poca separación en el concreto.

Definición operacional, unidad de análisis y unidad de información: En las microfisuras existentes luego de la aplicación de la carga máxima (P) a los 28 días, en la máquina de ensayos a flexión en el testigo experimental el cual será una vigueta con (Normativa ASTM C-78) en la cual se medirá la longitud con cinta métrica y ancho de las fisuras con un pie de rey, en tres de sus cara sin tomar en consideración la cara inferior ya que esta siempre tendrá fisuras producto de la aplicación de dicha carga máxima (P) dichos resultados servirán para realizar una comparación con las demás dosificaciones experimentales.

2) La segunda variable independiente es la introducción de fibras de plástico reciclado del tipo PET más aditivo superplastificante, como agregados a una mezcla de concreto base, este tipo de variable es numérica y su escala de medición es de razón, en la cual se evaluará y analizará como esta inserción incide en sus propiedades físicas y mecánicas en tres aspectos vitales los cuales son los siguientes:

- La resistencia a la compresión, ver si esta aumenta se mantiene o disminuye en las diferentes dosificaciones con la introducción de fibra de plástico reciclado, en

comparación con la dosificación de control sin inserción de fibra y sin aditivo superplastificante. Este tipo de variable es numérica y su escala de medición es de razón y la unidad en que serán medidas es en psi, su definición conceptual de compresión es la siguiente: Resistencia a la compresión en psi obtenida en un periodo de tiempo específico.

Definición operacional, unidad de análisis y unidad de información: Se medirá la carga máxima (P) aplicada por la máquina de ensayos a compresión en lb, en los testigos experimentales los cuales son 4 probetas cilíndricas (Normativa ASTM C-39, 2016) por cada dosificación reventando uno a los cinco días, uno a los siete días y dos a los veintiocho días para con dichos resultados aplicar la primera metodología la cual permitirá obtener la resistencia a la compresión F_c en (psi), al dividir dicha carga máxima (P) entre el área de la probeta cilíndrica.

- La resistencia a la flexión, ver si esta aumenta se mantiene o disminuye en las diferentes dosificaciones con la introducción de fibra de plástico reciclado, en comparación con la dosificación de control sin inserción de fibra y sin aditivo superplastificante. Este tipo de variable es numérica y su escala de medición es de razón y la unidad en que serán medidas es en psi, su definición conceptual de flexión es la siguiente: Resistencia a la flexión en psi obtenida en un periodo de tiempo específico.

Definición operacional, unidad de análisis y unidad de información: Se medirá la carga máxima (P) aplicada por la máquina de ensayos a flexión en lb, en los testigos experimentales los cuales son 2 viguetas (Normativa ASTM C-78, 2002) por cada dosificación reventando una a los siete días y una a los veintiocho días

para con dichos resultados aplicar la segunda metodología la cual es el módulo de ruptura, el cual permitirá obtener la resistencia a la flexión F_r, M_r en (Mpa), al multiplicar dicha carga máxima (P) por la longitud de separación de los apoyos (L) entre el ancho de la vigueta por la altura al cuadrado de la vigueta (d).

- Las microfisuras ver si estas aumentan se mantienen o disminuyen en las diferentes dosificaciones con la introducción de fibra de plástico reciclado, en comparación con la dosificación de control sin inserción de fibra y sin aditivo superplastificante. Este tipo de variable es numérica y su escala de medición es de razón y la unidad en que serán medidas es en cm, su definición conceptual de fisura es la siguiente: Separación en cm de una abertura largada y de poca separación en el concreto.

Definición operacional, unidad de análisis y unidad de información: En las microfisuras existentes luego de la aplicación de la carga máxima (P) a los 28 días, en la máquina de ensayos a flexión en el testigo experimental, el cual será una vigueta con (Normativa ASTM C-78) en la cual se medirá la longitud con cinta métrica y ancho de las fisuras con un pie de rey, en tres de sus cara sin tomar en consideración la cara inferior ya que esta siempre tendrá fisuras producto de la aplicación de dicha carga máxima (P) dichos resultados servirán para realizar una comparación con las demás dosificaciones experimentales.

3.4 Hipótesis.

Para comprobar las hipótesis se evaluará y analizará la resistencia a la compresión, flexión y microfisuramiento, en los distintos testigos elaborados con las diferentes dosificaciones

experimentales en las cuales se establecerá y mantendrá una mezcla de concreto y se variará únicamente la introducción de fibra de plástico reciclada y la adición del aditivo superplastificante.

- 1) Las fibras de plástico adicionadas como agregado a una mezcla de concreto, inciden en su resistencia a la compresión, flexión y microfisuramiento.
- 2) Las fibras de plástico adicionadas como agregado a una mezcla de concreto con aditivo superplastificante, inciden en su resistencia a la compresión, flexión y microfisuramiento.

3.5 Datos de las dosificaciones.

Se realizarán 7 dosificaciones experimentales (Ver figura 3): (1) de control la cual será una mezcla de concreto base con una relación 1:2:3 (3000 psi), (2) serán tres dosificaciones con la introducción de fibra de plástico reciclado PET, o tereftalato de polietileno a la mezcla de concreto base (3000 psi) y (3) serán tres dosificaciones con la introducción de fibra de plástico reciclado más aditivo superplastificante (ADMIX F-5) a la mezcla de concreto base (3000 psi). Elaborando por cada dosificación 4 probetas cilíndricas (Normativa ASTM C-39, 2016) y 2 viguetas (Normativa ASTM C-78, 2002), cada dosificación se define a detalle en la tabla #2 (Ver tabla #2).

Nota: Todos los agregados finos y gruesos se obtuvieron del proveedor “Larach y Compañía”, así como el cemento tipo portland marca “Argos”, El aditivo superplastificante (ADMIX F-5) del proveedor “Lazarus y Lazarus”.

ESQUEMA DE LAS 7 DOSIFICACIONES EXPERIMENTALES.

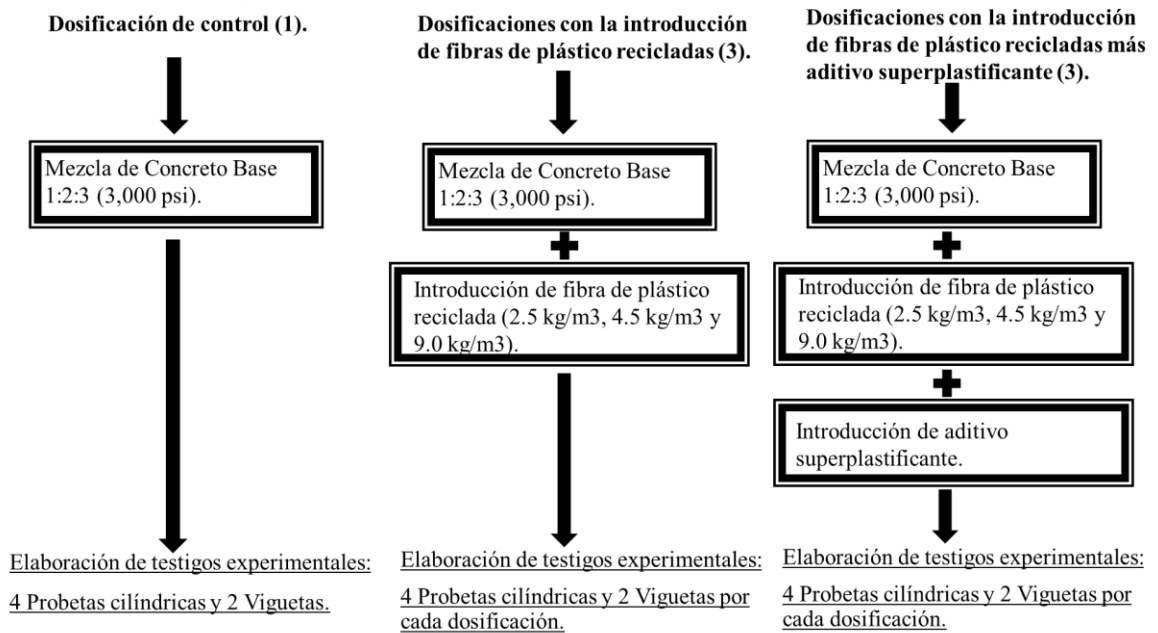


Figura 3. Esquema de las 7 dosificaciones experimentales.

Tabla 2. Dosificaciones experimentales.

| Dosificaciones Experimentales. | | | |
|--|--------|------------|------------|
| <u>Mezcla de Concreto Base 1:2:3 (3,000 psi), utilizada en todas las dosificaciones experimentales.</u> | | | |
| Aplicando el Método ACI Relación AC 0.55, Concreto 3,000 psi. | | | |
| Dosificación por Peso. | | | |
| Cemento | Arena | Grava | |
| 1 | 1.94 | 2.71 | |
| Relación agua/cemento | | | |
| 0.55 | | | |
| Para una Mezcla de: | | 294 | Libras |
| | | 133.36 | Kilogramos |
| Materiales necesarios para la elaboración de una mezcla de 294 libras de peso. | | | |
| | Libras | Gramos | |
| Cemento tipo portland marca “Argos” del proveedor “Larach y Compañía” | 51.99 | 23581.2 | |
| Arena (Triturada) del proveedor “Larach y Compañía” | 101.09 | 45854.25 | |
| Grava (Cantera) del proveedor “Larach y Compañía” | 140.92 | 63920.59 | |
| Total | 294 | 133356 | |
| | Litros | Mililitros | Libras |
| Agua (Potable) | 14.07 | 14067.41 | 31.01 |

| <u>Dosificaciones Experimentales</u> | |
|--|---|
| Nota: Por cada dosificación experimental se realizaron 4 cilindros 2 vigas, los cuales sirvieron como testigos experimentales. | |
| Dosificación #1 (Control). = | "Mezcla de Concreto Base 1:2:3 (3,000 psi)" |
| Dosificación #2 (2.5 kg/m3 sin aditivo).= | "Mezcla de Concreto Base 1:2:3 (3,000 psi)" + 2.5 kg/m3 De fibra plástica reciclada, la cual para una mezcla de 294 lb equivale a 0.31 lb. |
| Dosificación #3 (2.5 kg/m3, con aditivo).= | "Mezcla de Concreto Base 1:2:3 (3,000 psi)" + 2.5 kg/m3 De fibra plástica reciclada, la cual para una mezcla de 294 lb equivale a 0.31 lb. + 5.20 oz De aditivo superplastificante "ADMIX F-5". |
| Dosificación #4 (4.5 kg/m3, sin aditivo).= | "Mezcla de Concreto Base 1:2:3 (3,000 psi)" + 4.5 kg/m3 De fibra plástica reciclada, la cual para una mezcla de 294 lb equivale a 0.55 lb. |
| Dosificación #5 (4.5 kg/m3, con aditivo).= | "Mezcla de Concreto Base 1:2:3 (3,000 psi)" + 4.5 kg/m3 De fibra plástica reciclada, la cual para una mezcla de 294 lb equivale a 0.55 lb. + 5.20 oz De aditivo superplastificante "ADMIX F-5". |
| Dosificación #6 (9.0 kg/m3, sin aditivo).= | "Mezcla de Concreto Base 1:2:3 (3,000 psi)" + 9.0 kg/m3 De fibra plástica reciclada, la cual para una mezcla de 294 lb equivale a 1.10 lb. |
| Dosificación #7 (9.0 kg/m3, con aditivo). | "Mezcla de Concreto Base 1:2:3 (3,000 psi)" + 9.0 kg/m3 De fibra plástica reciclada, la cual para una mezcla de 294 lb equivale a 1.10 lb. + 5.20 oz De aditivo superplastificante "ADMIX F-5". |

Tabla creada en conjunto con el Ing. JUAN CARLOS REYES. Quien proporciono la tabla base, que luego se modificó para crear una dosificación por peso en base a los requerimientos específicos y adicionales como ser la introducción de fibras de plástico recicladas y aditivo superplastificante.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Resultados.

Se presentan los resultados obtenidos de las distintas dosificaciones experimentales, a través de las pruebas y ensayos realizados en los testigos experimentales.

4.1.1 Resultados de las dosificaciones experimentales.

Tabla 3. Resultados de las dosificaciones experimentales.

| Resultados de las Dosificaciones | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------------|---|---|---|---|------------------------------------|---|--|---|--|---|-------------------------------------|---|
| Se realizaron 7 dosificaciones diferentes, todas con una relación 1:2:3 para un concreto base de 3,000 psi, variando la Introducción de fibra reciclada y aditivo superplastificante. | | | | | | | | | | | | | |
| Dosificaciones | Prueba cono de Abrams | Prueba de compresion en cilindro (5 días) | | Prueba de compresion en cilindro (7 días) | | Prueba de flexion en viga (7 días) | | Prueba de compresion en cilindro (28 días) | | Prueba de compresion en cilindro (28 días) | | Prueba de flexion en viga (28 días) | |
| | | Peso (lb) | Carga máxima (P) aplicada por la maquina de ensayo en (lb). | Peso (lb) | Carga máxima (P) aplicada por la maquina de ensayo en (lb). | Peso (lb) | Carga máxima (P) aplicada por la maquina de ensayo en (lb). | Peso (lb) | Carga máxima (P) aplicada por la maquina de ensayo en (lb). | Peso (lb) | Carga máxima (P) aplicada por la maquina de ensayo en (lb). | Peso (lb) | Carga máxima (P) aplicada por la maquina de ensayo en (lb). |
| Dosificación 1 (Control). | 4.00 Pulgadas. | 27.5 | 33160 | 27.3 | 43353 | 72.51 | 3820 | 27.58 | 83070 | 27.71 | 78210 | 72.98 | 6560 |
| Dosificación 2 (2.5 kg/m3 sin aditivo). | 1.90 Pulgadas. | 27.65 | 33057 | 27.46 | 41986 | 72.81 | 3848 | 27.56 | 82689 | 27.48 | 79729 | 73.92 | 6818 |
| Dosificación 3 (2.5 kg/m3, con aditivo). | 2.50 Pulgadas. | 27.47 | 32916 | 27.63 | 39259 | 72.89 | 3646 | 27.65 | 73952 | 27.64 | 67912 | 73.95 | 6494 |
| Dosificación 4 (4.5 kg/m3, sin aditivo). | 2.20 Pulgadas. | 27.03 | 30542 | 27.16 | 34461 | 73.13 | 3384 | 27.52 | 67488 | 27.43 | 63125 | 72.63 | 5727 |
| Dosificación 5 (4.5 kg/m3, con aditivo). | 5.00 Pulgadas. | 27.46 | 22846 | 27.04 | 32017 | 71.79 | 3050 | 27.47 | 50086 | 27.54 | 51439 | 72.41 | 5454 |
| Dosificación 6 (9.0 kg/m3, sin aditivo). | 2.50 Pulgadas. | 27.53 | 29856 | 27.4 | 34542 | 72.26 | 3788 | 27.74 | 59166 | 27.45 | 68034 | 71.93 | 5828 |
| Dosificación 7 (9.0 kg/m3, con aditivo). | 6.50 Pulgadas. | 27.33 | 26543 | 27.35 | 29583 | 72.82 | 3323 | 27.44 | 53368 | 27.31 | 46026 | 72.29 | 5555 |

4.1.2 Resistencia a la compresión y a la flexión calculados en los testigos experimentales.

Tabla 4. Resistencia a la compresión y a la flexión calculados en los testigos experimentales.

| Resistencia a la compresión y a la flexión calculados en los testigos experimentales. | | | | | | |
|---|---|---|---|--|--|--|
| Se realizaron 7 dosificaciones diferentes, todas con una relación 1:2:3 para un concreto base de 3,000 psi, variando la Introducción de fibra reciclada y aditivo superplastificante. | | | | | | |
| Dosificaciones | Resistencia a la compresión calculado en el testigo experimental en este caso el cilindro a los 5 días. | Resistencia a la compresión calculado en el testigo experimental en este caso el cilindro a los 7 días. | Resistencia a la flexión o módulo de ruptura calculado en el testigo experimental, en este caso la viga a los 7 días. | Resistencia a la compresión calculado en el testigo experimental en este caso el cilindro a los 28 días. | Resistencia a la compresión calculado en el testigo experimental en este caso el cilindro a los 28 días. | Resistencia a la flexión o módulo de ruptura calculado en el testigo experimental, en este caso la viga a los 28 días. |
| | F'c en (psi) | F'c en (psi) | Fr,Mr en (Mpa) | F'c en (psi) | F'c en (psi) | Fr,Mr en (Mpa) |
| Dosificación 1 (Control). | 1173 | 1533 | 318 | 2938 | 2766 | 547 |
| Dosificación 2 (2.5 kg/m ³ sin aditivo). | 1169 | 1485 | 321 | 2925 | 2820 | 568 |
| Dosificación 3 (2.5 kg/m ³ , con aditivo). | 1164 | 1388 | 304 | 2616 | 2402 | 541 |
| Dosificación 4 (4.5 kg/m ³ , sin aditivo). | 1080 | 1219 | 282 | 2387 | 2233 | 477 |
| Dosificación 5 (4.5 kg/m ³ , con aditivo). | 808 | 1132 | 254 | 1771 | 1819 | 455 |
| Dosificación 6 (9.0 kg/m ³ , sin aditivo). | 1056 | 1222 | 316 | 2093 | 2406 | 486 |
| Dosificación 7 (9.0 kg/m ³ , con aditivo). | 939 | 1046 | 277 | 1888 | 1628 | 463 |

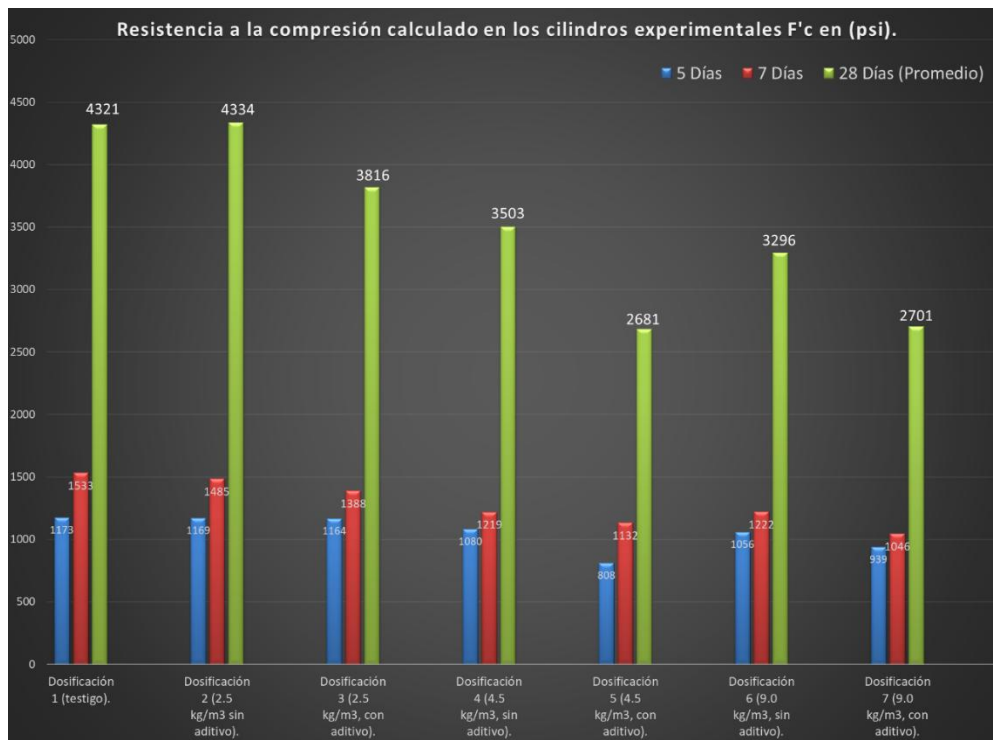


Figura 4. Resistencia a la compresión calculado en los cilindros experimentales F'c en (psi).

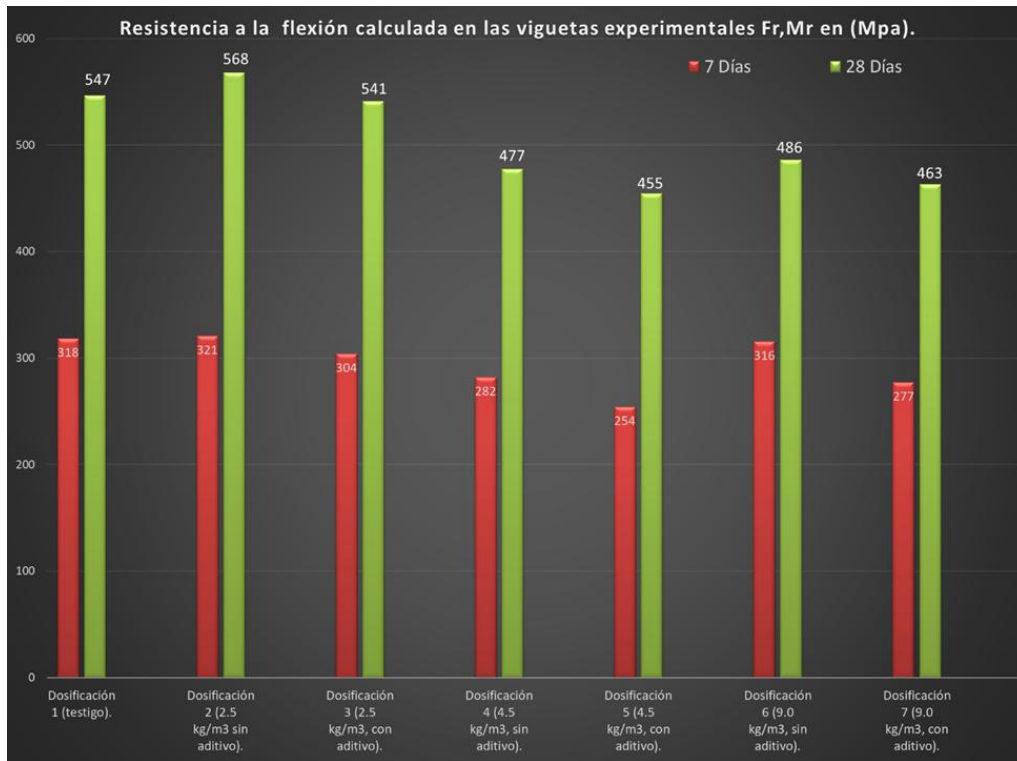


Figura 5. Resistencia a la flexión calculada en las viguetas experimentales Fr,Mr en (Mpa).

4.1.3 Microfisuramiento medido en los testigos experimentales.

Tabla 5. Microfisuramiento medido en los testigos experimentales.

| Microfisuramiento medido en los testigos experimentales. | | |
|---|---|---|
| Se realizaron 7 dosificaciones diferentes, todas con una relación 1:2:3 para un concreto base de 3,000 psi, variando la Introducción de fibra reciclada y aditivo | | |
| Dosificaciones | Longitud perpendicular de las microfisuras luego de la aplicación de la carga máxima (P) a los 28 días. | Espesor promedio de las microfisuras luego de la aplicación de la carga máxima (P) a los 28 días. |
| | (cm) | (cm) |
| Dosificación 1 (Control). | 51 | 0.3-0.5 |
| Dosificación 2 (2.5 kg/m ³ sin aditivo). | 30 | 0.01-0.02 |
| Dosificación 3 (2.5 kg/m ³ , con aditivo). | 29 | 0.01-0.02 |
| Dosificación 4 (4.5 kg/m ³ , sin aditivo). | 28 | 0.01-0.02 |
| Dosificación 5 (4.5 kg/m ³ , con aditivo). | 28 | 0.01-0.02 |
| Dosificación 6 (9.0 kg/m ³ , sin aditivo). | <u>24</u> | <u>0.01-0.02</u> |
| Dosificación 7 (9.0 kg/m ³ , con aditivo). | <u>23</u> | <u>0.01-0.02</u> |

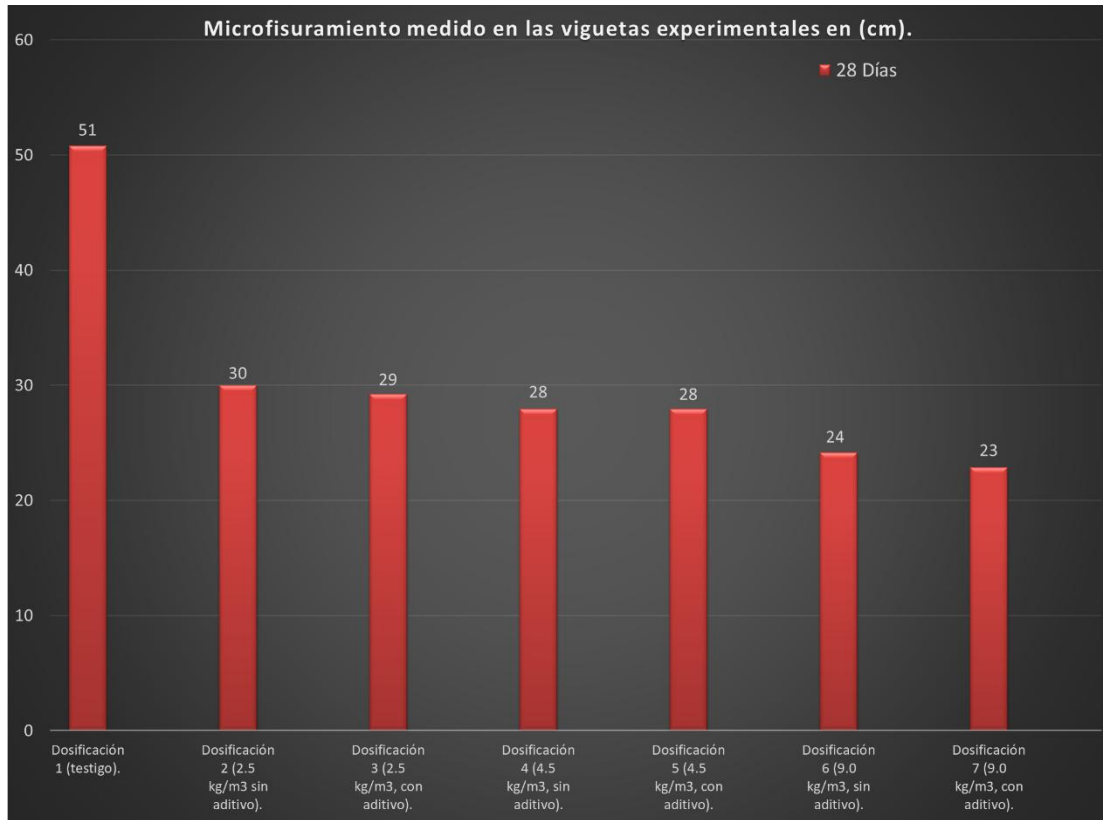


Figura 6. Resistencia a la flexión calculada en las viguetas experimentales F_r, M_r en (Mpa).

4.2 Interpretación y análisis de resultados.

- 1) Los resultados revelaron que la introducción de fibras de plástico reciclado como agregado a una mezcla de concreto incide en sus propiedades físicas y mecánicas de la siguiente manera:
 - La resistencia a la compresión en comparación con la dosificación de control se vio disminuida en las dosificaciones con la introducción de fibra de plástico reciclada de 4.5 kg/m³ y 9.0 kg/m³, sin embargo, la dosificación con la inserción de 2.5 kg/m³ obtuvo resistencias a la compresión muy similares con la dosificación de control superándola incluso por muy poco al promediar la resistencia alcanzada a los 28 días. Sorpresivamente todas las resistencias a la compresión de las dosificaciones con la introducción de fibra de plástico reciclada

sin aditivo resultaron ser mayores a sus similares con la inserción del aditivo superplastificante, como puede verse en (Tabla 4, figura 4, página 33).

- La resistencia a la flexión en comparación con la dosificación de control se vio disminuida en las dosificaciones con la introducción de fibra de plástico reciclada de 4.5 kg/m³ y 9.0 kg/m³, sin embargo, la dosificación con la inserción de 2.5 kg/m³ obtuvo resistencias a la flexión superior a la dosificación de control. Sorpresivamente todas las resistencias a la flexión de las dosificaciones con la introducción de fibra de plástico reciclada sin aditivo resultaron ser mayores a sus similares con la inserción del aditivo superplastificante, como puede verse en (Tabla 4, página 33 y figura 5, página 34).
- El microfisuramiento en comparación con la dosificación de control se redujo en todas las dosificaciones con la introducción de fibra de plástico reciclada, siendo mayor la reducción del microfisuramiento en la dosificación con la inserción de 9.0 kg/m³, seguido por la de 4.5 kg/m³ y 2.5 kg/m³, es decir que la introducción de fibra de plástico reciclada es directamente proporcional a la reducción del microfisuramiento. Se observó que la reducción del microfisuramiento de las dosificaciones con la introducción de plástico reciclado sin aditivo, son muy similares con las dosificaciones con las dosificaciones con la inserción de dichas fibras más aditivo superplastificante, como puede verse en (Tabla 5, página 35 y figura 6, página 36).

- 2) Los resultados revelaron que la introducción de fibras de plástico reciclado más aditivo superplastificante como agregados a una mezcla de concreto incide en sus propiedades físicas y mecánicas de la siguiente manera:
- La resistencia a la compresión en comparación con la dosificación de control se vio disminuida en todas las dosificaciones experimentales con este tratamiento y si comparamos dichas dosificaciones con la introducción de plástico reciclado más aditivo superplastificante con sus similares sin la adición de dicho aditivo superplastificante observaremos que también obtienen resistencias menores a compresión, como puede verse en (Tabla 4, figura 4, página 33).
 - La resistencia a la flexión en comparación con la dosificación de control se vio disminuida en todas las dosificaciones experimentales con este tratamiento y si comparamos dichas dosificaciones con la introducción de plástico reciclado más aditivo superplastificante con sus similares sin la adición de dicho aditivo superplastificante observaremos que también obtienen resistencias menores a flexión, como puede verse en (Tabla 4, página 33 y figura 5, página 34).
 - El microfisuramiento en comparación con la dosificación de control se redujo en todas las dosificaciones con la introducción de fibra de plástico reciclada y aditivo superplastificante, siendo mayor la reducción del microfisuramiento en la dosificación con la inserción de 9.0 kg/m³ más aditivo, seguido por la de 4.5

kg/m³ más aditivo y 2.5 kg/m³ más aditivo, es decir que la introducción de fibra de plástico reciclada es directamente proporcional a la reducción del microfisuramiento. Se observó que la reducción del microfisuramiento de las dosificaciones con la introducción de plástico reciclado sin aditivo, son muy similares con las dosificaciones con las dosificaciones con la inserción de dichas fibras más aditivo superplastificante, como puede verse en (Tabla 5, página 35 y figura 6, página 36).

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- 1) Se determinó que la introducción de fibras de plástico reciclado como agregado a una mezcla de concreto incide en sus propiedades físicas y mecánicas de la siguiente manera:
 - Se determinó que la dosificación con la introducción de 2.5 kg/m³ de fibra de plástico reciclada mantuvo la resistencia a la compresión al compararse con la dosificación de control, superándola ínfimamente por un 0.71% al promediar los resultados en los testigos experimentales a los 28 días, ver (Tabla 4, figura 4, página 33). Este resultado era teóricamente esperado y concuerda con la mayoría de los estudios realizados en los cuales la inserción de fibras a una mezcla de concreto base, no aumentó significativamente la resistencia a la compresión como concluyó Bentur en 2007, (Bentur, University of British Columbia, Mindess, & University of British Columbia, 2007). Las dosificaciones con la inserción de 4.5 kg/m³ y 9.0 kg/m³ de fibra de plástico reciclada obtuvieron resistencias a la compresión menores al compararse con la dosificación de control y con la dosificación con la introducción de 2.5 kg/m³ de fibra de plástico reciclada. Cabe destacar que todas las resistencias a la compresión de las dosificaciones con la introducción de fibra de plástico reciclada sin aditivo resultaron ser mayores a sus similares con la inserción del aditivo superplastificante, como puede verse en (Tabla 4, figura 4, página 33).

- Se determinó que la dosificación con la introducción de 2.5 kg/m³ de fibra de plástico reciclada obtuvo una resistencia mayor a la flexión al compararse con la dosificación de control, superándola por un 4% en la resistencia obtenida a los 28 días en los testigos experimentales, ver (Tabla 4, página 33 y figura 5, página 34). Este resultado era teóricamente esperado y concuerda con la mayoría de los estudios realizados en los cuales la inserción de fibras potencio la resistencia a la flexión como concluyo “American Concrete Institute” en 2010, (ACI-544, 2010). Las dosificaciones con la inserción de 4.5 kg/m³ y 9.0 kg/m³ de fibra de plástico reciclada obtuvieron resistencias a la flexión menores al compararse con la dosificación de control y con la dosificación con la introducción de 2.5 kg/m³ de fibra de plástico reciclada. Cabe destacar que todas las resistencias a la flexión de las dosificaciones con la introducción de fibra de plástico reciclada sin aditivo resultaron ser mayores a sus similares con la inserción del aditivo superplastificante, como puede verse en (Tabla 4, página 33 y figura 5, página 34).
- Se determinó que el microfisuramiento en comparación con la dosificación de control se redujo en todas las dosificaciones con la introducción de fibra de plástico reciclada, siendo mayor la reducción del microfisuramiento en la dosificación con la inserción de 9.0 kg/m³ en un 53%, seguido por la de 4.5 kg/m³ en un 45% y 2.5 kg/m³ en un 41%, es decir que la introducción de fibra de plástico reciclada es directamente proporcional a la reducción del microfisuramiento, esta conclusión concuerda con la mayoría de los estudios

realizados anteriormente, en los cuales se determinó que la introducción de fibras a una mezcla de concreto redujo significativamente el microfisuramiento como concluyeron Adebar en 1997, (Adebar et al., 1997) y Kwak en 2002, (Kwak et al., 2002). Se observó que la reducción del microfisuramiento de las dosificaciones con la introducción de plástico reciclado sin aditivo, son muy similares con las dosificaciones con las dosificaciones con la inserción de dichas fibras más aditivo superplastificante, por lo que podemos concluir que la reducción en las microfisuras se debe al aumento de la inserción de fibra de plástico reciclada y no a la introducción del aditivo superplastificante, como puede verse en (Tabla 5, página 35 y figura 6, página 36).

2) Se determinó que la introducción de fibras de plástico reciclado más aditivo superplastificante como agregados a una mezcla de concreto incide en sus propiedades físicas y mecánicas de la siguiente manera:

- Se determinó que todas las dosificaciones con la introducción de fibra de plástico reciclado y aditivo superplastificante sufrieron una reducción en la resistencia a la compresión al compararse con la dosificación de control y a sus similares con la introducción de fibras de plástico reciclado, pero sin aditivo, al promediar los resultados en los testigos experimentales a los 28 días, ver (Tabla 4, figura 4, página 33). Esta conclusión no concuerda con lo concluido por Burón en 2006, (Burón et al., 2006) en la cual se recomendó utilizar aditivos superplastificantes en dosificaciones con introducción de fibras, para mejorar su trabajabilidad y

potenciar aún más los beneficios de la introducción de fibra a una mezcla de concreto base.

- Se determinó que todas las dosificaciones con la introducción de fibra de plástico reciclado más aditivo superplastificante sufrieron una reducción en la resistencia a la flexión al compararse con la dosificación de control y a sus similares con la introducción de fibras de plástico recicladas, pero sin aditivo al promediar los resultados en los testigos experimentales a los 28 días, ver (Tabla 4, página 33 y figura 5, página 34). Esta conclusión no concuerda con lo concluido por Burón en 2006, (Burón et al., 2006) en la cual se recomendó utilizar aditivos superplastificantes en dosificaciones con introducción de fibras, para mejorar su trabajabilidad y potenciar aún más los beneficios de la introducción de fibra a una mezcla de concreto base.
- Se determinó que el microfisuramiento en comparación con la dosificación de control se redujo en todas las dosificaciones con la introducción de fibra de plástico reciclada más aditivo superplastificante, siendo mayor la reducción del microfisuramiento en la dosificación con la inserción de 9.0 kg/m³ en un 55%, seguido por la de 4.5 kg/m³ en un 45% y 2.5 kg/m³ en un 43% ver (Tabla 5, página 35 y figura 6, página 36), es decir que la introducción de fibra de plástico reciclada y aditivo superplastificante es directamente proporcional a la reducción del microfisuramiento. esta conclusión concuerda con la mayoría de los estudios realizados anteriormente, en los cuales se determinó que la introducción de fibras

a una mezcla de concreto redujo significativamente el microfisuramiento como concluyeron Adebar en 1997, (Adebar et al., 1997) y Kwak en 2002, (Kwak et al., 2002). Se observó que la reducción del microfisuramiento de las dosificaciones con la introducción de plástico reciclado sin aditivo, son muy similares con las dosificaciones con las dosificaciones con la inserción de dichas fibras más aditivo superplastificante, por lo que podemos concluir que la reducción en las microfisuras se debe al aumento de la inserción de fibra de plástico reciclada y no a la introducción del aditivo superplastificante, como puede verse en (Tabla 5, página 35 y figura 6, página 36).

5.2 Recomendaciones

- 1) Se recomienda la dosificación con la introducción de 2.5 kg/m³ de fibras de plástico reciclado a una mezcla de concreto en este caso de 3000 psi, para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas, debido a que fue la única dosificación que en comparación con la dosificación de control de 3000 psi sin inserción de fibras y aditivo, permitió mantener la resistencia a la compresión superándola ínfimamente por un 0.71% al promediar los resultados en los testigos experimentales a los 28 días, superar la resistencia a la flexión en un 4% obtenida a los 28 días en los testigos experimentales y permitiendo reducir las microfisuras en un 41% sin afectar la resistencia a la compresión y a la flexión, como sucede en los caso de las dosificaciones con más introducción de fibra de plástico reciclada.

Por tanto, también recomendamos hacer más estudios sobre esta dosificación con más testigos experimentales, para realizar un estudio más a fondo sobre la

diferencia de medias entre los testigos experimentales y probar cómo se comporta dicha inserción en diferentes mezclas de concreto, por citar un ejemplo podría ser en un concreto de 4000 psi.

- 2) No se recomienda ninguna dosificación con la introducción de fibras de plástico reciclado más aditivo superplastificante (ADMIX F-5 del proveedor “Lazarus y Lazarus”) a una mezcla de concreto en este caso de 3000 psi, debido a que en ninguna dosificación se logró mantener o superar las características físicas y mecánicas en comparación con la dosificación de control o las dosificaciones similares en cuanto a la inserción de fibra pero sin aditivo, por el contrario en todos los casos se redujo su resistencia a la flexión y a la compresión y si bien es cierto las microfisuras fueron reducidas de manera similar a las dosificaciones con la introducción de fibra de plástico reciclada sin aditivo, se determinó que dicha reducción se debe al aumento en la inserción de fibra y no al agregar el aditivo superplastificante en este caso (ADMIX F-5 del proveedor “Lazarus y Lazarus”).

Por lo tanto no se recomienda el uso de este aditivo en este caso (ADMIX F-5 del proveedor “Lazarus y Lazarus”) y se recomienda realizar estudios comparativos entre dosificaciones con la inserción de este aditivo y otros aditivos, que aseguran mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto como agregado a una mezcla de concreto y una dosificación testigo sin ningún tipo de aditivo para darle más fundamento a esta afirmación de que en lugar de mejorar dichas propiedades físicas y mecánicas sufrieron en todos

los casos una reducción de las mismas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI Comite 544. (2002). State of the Art Report on Fiber Reinforced Concrete Reported (ACI 544.1R-96 Reapproved 2002). *ACI Structural Journal*, 96(Reapproved), 66. article.
- ACI-Comite 544. *Report on the Physical Properties and Durability of Fiber-Reinforced Concrete* (ACI 544.5 R-10), American Concrete Institute, Farmington Hills, EUA, 2010.
- Adebar P., Mindess S., Pierr D., Olund B. Shear Tests of Fiber Concrete Beams Without Stirrups. *ACI Structural Journal*, Volumen 94 (número 1), 1997:68-76.
- ASTM C 39. Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto (2016).
- ASTM C 78. Método de Ensayo Normalizado para la Determinación de la Resistencia a la Flexión del Concreto (Utilizando Viga Simple con Carga en los Tercios del Claro) (2002).
- ASTM C 143. Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete (2016).
- Aymar, G. (2007). Verificación de la dosificación de fibras sintéticas para neutralizar las fisuras causadas por contracción plástica en el concreto.
- Bentur, Arnon; Mindess, S. (2007). Cementitious Composites. In Francis & Taylor (Eds.), *Civil Engineering* (2nd ed., p. 625). in collection, Modern Concrete Technology Series.
- Bentur, A. of C. E., University of British Columbia, C., Mindess, S. of C. E., & University of British Columbia, C. (2007). *Cementitious Composites*. (Taylor & Francis, Eds.) (Second edi).
- Burón, M., Jaime, F., & Garrido, L. (2006). Hormigón. misc, Instituto Español del cemento y sus Aplicaciones.
- González, A., Antonio, J., Loyola, R., & Miguel, J. (2016). Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de concretos autocompactantes de altas prestaciones con la inclusión de fibras plásticas normalizadas y recicladas. *Repositorio Institucionas de la Universidad de Cuenca*, 1-107.
- Guzmán, S., Fernanda, M., Darío, D., Gómez, T., Marina, L., & Darío, N. (2017). Residuos inertes para la preparación de ladrillos con material reciclable: una práctica. *Industrial Data*, 131-138.
- Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la Investigación*. México D.F.: MC GRAW HILL Education.
- International, A. (9 de junio de 2019). *ASTM International*. Obtenido de ASTM International: <https://www.astm.org/>
- Kwak Y., Eberhard M., Kim J., Shear Strength of Steel Fiber-Reinforced Concrete Beams Without Stirrups. *ACI Structural Journal*, Volumen 99, 2002:530-538.
- Montgomery, D. (2011). *DISEÑO Y ANÁLISIS DE EXPERIMENTOS*. (L. WILEY, Ed.) (segunda).

NAPCOR. (2010). *Lo Básico del PET*. Retrieved from http://www.napcor.com/pdf/NAPCOR_PETBasics_spanish.pdf

Petrou M. , Harries K., Gadala M. F., y Kolli V. G. (Mayo de 2000). A unique experimental method for monitoring aggregate settlement in concrete. *Cement and Concrete Research*, Volumen 30.

Qian, C. X., & Stroeven, P. (2000). Development of hybrid polypropylene-steel fibre-reinforced concrete. *Cement and Concrete Research*, 30(1), 63–69. article. [http://doi.org/10.1016/S0008-8846\(99\)00202-1](http://doi.org/10.1016/S0008-8846(99)00202-1)

Sivakumar, A., & Santhanam, M. (2007). Mechanical properties of high strength concrete reinforced with metallic and non-metallic fibres. *Cement and Concrete Composites*, 29(8), 603–608. article.

ANEXOS

Anexo 1. Cilindros experimentales.



Figura 7. Cilindros Experimentales.

Anexo 2. Viguetas Experimentales.



Figura 8. Viguetas Experimentales.

Anexo 3. Máquina de Ensayos, Adaptada para Realizar Ensayo a Compresión de un Cilindro Experimental.



Figura 9. Máquina de Ensayos, Adaptada para Realizar Ensayo a Compresión de un Cilindro Experimental.

Anexo 4. Máquina de Ensayos, Adaptada para Realizar Ensayo a Flexión de una Vigüeta Experimental.



Figura 10. Máquina de Ensayos, Adaptada para Realizar Ensayo a Flexión de una Vigüeta Experimental.

Anexo 5. Falla Frágil en la Vigueta Experimental, Luego de la Aplicación de la Carga Máxima (P) en la Máquina de Ensayos a Flexión, Elaborada con la Dosificación de Control.



Figura 11. Falla Frágil en la Vigueta Experimental, Luego de la Aplicación de la Carga Máxima (P) en la Máquina de Ensayos a Flexión, Elaborada con la Dosificación de Control.

Anexo 6. Falla Dúctil en la Vigueta Experimental, Luego de la Aplicación de la Carga Máxima (P) en la Máquina de Ensayos a Flexión, Elaborada con una Dosificación con la Introducción de Fibra Plástica Reciclada a la Mezcla de Concreto.



Figura 12. Falla Dúctil en la Vigueta Experimental, Luego de la Aplicación de la Carga Máxima (P) en la Máquina de Ensayos a Flexión, Elaborada con una Dosificación con la

Introducción de Fibra Plástica Reciclada a la Mezcla de Concreto.