

**UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO DE MANABÍ”**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:  
PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:  
INGENIERO CIVIL**

**TEMA:**

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A  
COMPRESIÓN Y FLEJO-TRACCIÓN DEL HORMIGÓN  
UTILIZANDO COMO AGREGADO LA FIBRA DE  
POLIPROPILENO Y NYLON.”**

**ELABORADO POR:**

Flores Díaz Carlos Javier

Guerrero Palma Lissette Erlinda

**DIRECTOR DE TESIS:**

Ing. Julio Darío Páez Cornejo Msc.

Manta, 2015

## CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ing. Julio Darío Páez Cornejo Msc. Docente de la Carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

### CERTIFICA:

Que el presente Proyecto de Investigación Titulado **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y FLEXO-TRACCIÓN DEL HORMIGÓN UTILIZANDO COMO AGREGADO LA FIBRA DE POLIPROPILENO Y NYLON”**, ha sido exhaustamente revisado.

Las opiniones y conceptos vertidos en este Proyecto de Investigación es fruto del trabajo, perseverancia y originalidad de sus autores: Sr. Carlos Javier Flores Díaz y Sra. Lissette Erlinda Guerrero Palma, siendo de su exclusiva responsabilidad.

*Manta, Noviembre del 2015.*

---

Ing. Julio Darío Páez Cornejo Msc.

**DIRECTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

### DECLARAMOS QUE:

El presente trabajo de investigación denominado **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y FLEXO-TRACCIÓN DEL HORMIGÓN UTILIZANDO COMO AGREGADO LA FIBRA DE POLIPROPILENO Y NYLON”** ha sido desarrollado en base a una investigación adecuada, respetando los derechos de propiedad de terceros, aplicando las respectivas citas y referencias en este documento. Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Manta, Noviembre de 2015.

---

FLORES DÍAZ CARLOS JAVIER.

---

GUERRERO PALMA LISSETTE ERLINDA.

## **DEDICATORIA**

Este proyecto de investigación va dedicado al Creador de todo lo viviente, por brindarme inteligencia y fortalezas siempre que las necesitaba y nunca abandonarme en este camino largo y complicado.

A mis padres y hermano, el Economista Milton Flores Anchundia, mi madre Lourdes Díaz Mora, y hermano Milton Flores, por siempre brindarme su apoyo y estar en todo momento en las diversas etapas de mi vida.

A mi familia que siempre me apoyo con un granito de arena en todo momento que lo necesitaba, brindando el calor hogareño y siempre diciendo si puedes lograrlo.

A mi enamorada Mariela Chiquito Baque que estuvo en la gran parte de mi vida Universitaria apoyándome en todo momento y siempre preocupada por mi bienestar.

A mis amigos y compañeros de aula que siempre nos apoyábamos mutuamente y estudiar para algún examen o alguna prueba. En especial a mis amigos que siempre estuvieron conmigo como son: mi compañera de proyecto de investigación Lissette Guerrero, Juan Carlos Lara, Paola Velásquez, Paul Alcívar y Nancy Latorre.

A mi perrita Selin, que más que una mascota, es un integrante más de la familia, acompañándome en momentos de estudio, estando allí presente.

**Carlos Javier Flores Díaz**

## **DEDICATORIA**

“El placer de la vida consiste en tener siempre algo que hacer, alguien a quien amar y alguna cosa que esperar”

Este proyecto de investigación se lo dedico a papá Dios por brindarme la oportunidad de vivir, por siempre fortalecer mi corazón y no desmayar en los problemas que se presentaban sin desfallecer en el intento en este largo y duro periodo de estudio.

A mi adorada hija Mía Panta quien es mi motivación, quien le da sentido a mi vida, es la causante de mi anhelo de salir adelante, de progresar y culminar cada meta trazada.

A mi madre Angelita Palma quien siempre ha sido el pilar fundamental en mi vida, encaminándome hacia el bien y mostrarme la valentía de luchar por lo que se quiere; a mi padre Bolívar Guerrero que aunque ya no esté conmigo sé que desde cualquier lugar del mundo se encontraría orgulloso de este triunfo.

A mi familia quienes en algún momento me brindaron su apoyo y juntos me ayudaron a encontrar la meta.

A mis amigos y compañeros de aula con quienes compartí momentos de alegrías y tristezas, momentos de locura, momentos de estudio; pero en especial a mi compañero de este proyecto de investigación: Carlos Flores.

**Lissette Erlinda Guerrero Palma**

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar agradecer al Creador de todo, ya que sin él sería imposible haber llegado a estas instancias.

A mi familia representada por papá, mamá y hermano, y toda la familia a nivel general porque sin su gran apoyo no hubiera llegado tan lejos. A mi enamorada que forma parte de mi familia y de mi entorno.

A los profesores de la Universidad, en especial a los de Ingeniería Civil, que siempre se comportaron muy bien aportando con los conocimientos adquiridos durante mucho tiempo.

Agradecer al director del Proyecto de Investigación el Ing. Darío Páez Cornejo, que se portó un 10 en todo momento, desde cuando fue profesor de Estructuras hasta ahora que a ha sido el director del proyecto.

A mis amigos que pasamos por momentos duros al comienzo de la carrera pero poco a poco nos fuimos acoplando en esta nueva etapa de la vida.

**Carlos Javier Flores Díaz**

## **AGRADECIMIENTO**

Primero y antes que nada, dar gracias a Dios, por encontrarse conmigo en cada paso que doy, por confortar mi corazón y por disponer en mi camino a personas que han sido mi soporte y compañía durante todo este periodo de estudio.

A mi hija porque aunque esté muy pequeña, mañana entenderá que esos días de dejarla en brazos de mi madre sirvió para que tenga un futuro mejor y lograr ser un buen ejemplo para ella.

Agradezco hoy y siempre a mi madre por ser el vivo ejemplo de la lucha y perseverancia y por inculcarme valores que de una u otra manera me han servido en la vida, gracias por eso y mucho más.

A nuestro director de proyecto de investigación Ingeniero Darío Páez Cornejo por tenernos paciencia y por guiarnos en cada paso de este proyecto.

A mis maestros de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, de la carrera de Ingeniería Civil que me impartieron sus conocimientos y experiencias en el transcurso de mi vida como formación profesional.

A mis amigos y amigas y a todas las personas que me incentivaron y motivaron para seguir en este propósito que sin duda alguna no fue tan fácil.

**Lisette Erlinda Guerrero Palma**

## RESUMEN

Las innovaciones en el hormigón día a día van en aumento, es por esto que los profesionales deben estar actualizados en estos temas de gran importancia, para que no existan desconocimientos al momento de aplicarlos en la vida cotidiana.

En el presente proyecto de investigación se plantea realizar un aporte de información relacionado con la utilización de fibras de polipropileno y nylon como agregado en el hormigón, los cuales aportan en la resistencia a compresión y flexo-tracción.

Lo primero que se debe efectuar es la realización de ensayos a los materiales que conforman el hormigón mediante el método del ACI, de ésta manera se determina si dichos materiales se encuentran dentro de los parámetros establecidos de la normativa mencionada. Posteriormente se debe conocer el peso o volumen a emplear indicado en la dosificación, para determinar la cantidad de fibra a utilizar.

Entre los procedimientos utilizados en este proyecto de investigación se plantearon ensayar cuarenta y cinco probetas de hormigón, distribuidas en tres grupos: sin reforzamiento, con fibra de nylon y fibra de polipropileno, las mismas que contienen dichas fibras como agregado adicional, para luego ser ensayados a compresión, verificando las características de las fibras.

Además se plantea realizar veinte y nueve viguetas de hormigón, distribuidas en tres grupos: sin reforzamiento, con fibra de nylon y fibra de polipropileno, las mismas que contienen dichas fibras como agregado adicional, para luego ser ensayados a flexo-tracción, verificando las características de las fibras.

Con el estudio se comprueba que al agregarle las fibras de polipropileno al hormigón, aumenta la resistencia a la compresión y al agregarle las fibras de nylon, aumenta la resistencia a la flexo-tracción.



## **ABSTRACT**

Innovations in concrete daily are increasing, which is why professionals should be updated on these issues of great importance, so there are no unknowns at the time of application in everyday life.

In this research project it is proposed to make a contribution of information related to the use of polypropylene fibers and nylon as aggregate in concrete, which provide the compressive strength and flexural strength in the concrete.

The first thing that must be done is the testing of the materials that make up the concrete by the method of ACI , this way is determined whether such materials are within the parameters established by the above regulations . Subsequently must know the weight or volume to be used in the dosage indicated, to determine the amount of fiber used.

Among the methods used in this research project were raised tested forty five concrete specimens, grouped into three groups: without reinforcement, with nylon fiber and polypropylene fiber, the same containing such fibers as an additional aggregate, before being tested compression, verifying the characteristics of the fibers.

In addition it is proposed to perform twenty nine concrete beams, grouped into three groups: without reinforcement, with nylon fiber and polypropylene fiber, the same containing such fibers as an additional aggregate, before being tested to flexo-traction, checking features fibers.

The study is found that by adding polypropylene fibers to concrete, increases the compressive strength and by adding nylon fibers, increases resistance to flexion and traction.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	II
DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	III
DEDICATORIA .....	IV
DEDICATORIA .....	V
AGRADECIMIENTO .....	VI
AGRADECIMIENTO .....	VII
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT .....	IX
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	X
ÍNDICE DE TABLAS .....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XVI
INTRODUCCIÓN.....	1
Problema de investigación.....	3
Objetivo general .....	5
Objetivos específicos.....	5
Hipótesis .....	6
Métodos .....	6
Técnicas.....	6
Procedimientos .....	6
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>9</b>
<b>1. ANÁLISIS DEL HORMIGÓN SIMPLE, FIBRAS DE POLIPROPILENO Y FIBRAS DE NYLON.....</b>	<b>9</b>
1.1. Antecedentes de la investigación .....	9
1.2. Fundamentación teórica.....	10
1.2.1. El Hormigón.....	10
1.2.1.1. Generalidades.....	10

1.2.1.2.	Propiedades físicas y mecánicas.....	11
1.2.1.3.	Propiedades del hormigón fresco .....	12
1.2.1.4.	Propiedades del hormigón endurecido .....	16
1.2.1.5.	Comportamiento elástico e inelástico del hormigón .....	24
1.2.1.6.	Deformaciones .....	26
1.2.1.7.	Componentes del hormigón.....	27
1.2.1.8.	Fibras en el hormigón .....	28
1.2.1.9.	Influencias de las fibras como agregado en el hormigón.....	34
1.2.1.10.	Normativas de concreto reforzado con fibras .....	36
<b>CAPÍTULO II.....</b>		<b>40</b>
<b>2. ESTUDIO TEÓRICO-EXPERIMENTAL DEL HORMIGÓN UTILIZANDO COMO AGREGADO LA FIBRA DE NYLON Y POLIPROPILENO .....</b>		<b>40</b>
2.1.	Determinación y selección de elementos.....	40
2.2.	Fibras a utilizar.....	41
2.3.	Métodos propuestos para diseño del hormigón con y sin fibras.....	41
2.3.1.	Métodos de diseño .....	41
2.3.1.1.	Método del ACI (Instituto Americano del Hormigón) .....	42
2.4.	Ensayos realizados a los agregados. ....	47
2.4.1.	Ensayos al agregado grueso.....	47
2.4.2.	Ensayos al agregado fino.....	56
2.5.	Diseño de mezclas de pruebas para 210 kg/cm <sup>2</sup> .....	63
2.6.	Concentración de fibras. ....	71
2.6.1.	Cálculo de la cantidad de fibra: .....	71
2.7.	Fórmulas para calcular la Resistencia a la Compresión. ....	75
2.8.	Fórmulas para calcular la Resistencia a la Flexo-Tracción.....	77
<b>CAPÍTULO III.....</b>		<b>82</b>
<b>3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE ENSAYOS</b>		<b>82</b>

3.1. Resultados obtenidos mediante cilindros y vigas sometidos a ensayos de compresión y flexo tracción. ....	82
3.1.1. Resumen de Resultados de los cilindros sometidos a ensayos de compresión.....	98
3.1.2. Resumen de Resultados de las vigas sometidas a ensayos de flexo-tracción.....	116
<b>CONCLUSIONES:</b> .....	<b>119</b>
<b>RECOMENDACIONES:</b> .....	<b>120</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>121</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>123</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1.</b> Consistencia del Hormigón .....	13
<b>Tabla 1.2.</b> Resistencia a la compresión y resistencia a la tracción del hormigón. .....	21
<b>Tabla 1.3.</b> Módulos de elasticidad de hormigones de diferentes resistencias. .	24
<b>Tabla 1.4.</b> Deformación del hormigón .....	27
<b>Tabla 1.5.</b> Tipos de aditivos y efectos que producen en el hormigón. ....	28
<b>Tabla 1.6.</b> Características físicas de la fibra de polipropileno. ....	32
<b>Tabla 1.7.</b> Longitud de la fibra .....	36
<b>Tabla 2.8.</b> Nomenclatura de muestras. ....	41
<b>Tabla 2.9.</b> Asentamientos recomendados para diferentes tipos de construcción .....	42
<b>Tabla 2.10.</b> Tamaños máximos de grava recomendados para diferentes tipos de construcción. ....	43
<b>Tabla 2.11.</b> Cantidades aproximadas de agua de mezclado que se requieren para diferentes asentamientos y tamaños de grava. ....	44
<b>Tabla 2.12.</b> Resistencia a la compresión del hormigón basada en la relación Agua/Cemento .....	45
<b>Tabla 2.13.</b> Volumen aparente seco y compactado de agregado grueso por unidad de volumen de hormigón (*) .....	46
<b>Tabla 2.14.</b> Peso del concreto con y sin aire. ....	47
<b>Tabla 2.15.</b> Granulometría del agregado grueso.....	48
<b>Tabla 2.16.</b> Granulometría corregida del agregado grueso.....	49
<b>Tabla 2.17.</b> Límites superiores e inferiores. ....	50
<b>Tabla 2.18.</b> Porcentaje de humedad del agregado grueso.....	53
<b>Tabla 2.19.</b> Porcentaje de absorción de la muestra #1 del agregado grueso ...	54
<b>Tabla 2.20.</b> Porcentaje de absorción de la muestra #2 del agregado grueso ...	54
<b>Tabla 2.21.</b> Porcentaje de absorción de la muestra #3 del agregado grueso ...	55
<b>Tabla 2.22.</b> Cálculo del valor promedio de la absorción del agregado grueso. .	55
<b>Tabla 2.23.</b> Granulometría del agregado fino. ....	56
<b>Tabla 2.24.</b> Granulometría corregida del agregado fino.....	57
<b>Tabla 2.25.</b> Límites superiores e inferiores del agregado fino. ....	58
<b>Tabla 2.26.</b> Porcentaje de humedad del agregado fino. ....	61

<b>Tabla 2.27.</b> Porcentaje de absorción de la muestra #1 del agregado fino. ....	61
<b>Tabla 2.28.</b> Porcentaje de absorción de la muestra #2 del agregado fino. ....	62
<b>Tabla 2.29.</b> Porcentaje de absorción de la muestra #3 del agregado fino. ....	62
<b>Tabla 2.30.</b> Cálculo del valor promedio de la absorción del agregado grueso. ....	63
<b>Tabla 2.31.</b> Tabulación de resultados de los ensayos en los agregados. ....	63
<b>Tabla 2.32.</b> Datos de la dosificación para 1 m <sup>3</sup> de hormigón por peso. ....	68
<b>Tabla 2.33.</b> Datos de la dosificación para 1 saco de cemento por peso. ....	68
<b>Tabla 2.34.</b> Datos de la dosificación final del hormigón por saco de cemento. ....	69
<b>Tabla 2.35.</b> Dosificación inicial para 327 kg de hormigón. ....	70
<b>Tabla 2.36.</b> Corrección por humedad y absorción en la dosificación. ....	70
<b>Tabla 2.37.</b> Dosificación para 327 Kg de concreto. ....	73
<b>Tabla 2.38.</b> Corrección por humedad y absorción en la dosificación. ....	73
<b>Tabla 2.39.</b> Dosificación para 327 kg de concreto. ....	74
<b>Tabla 2.40.</b> Corrección por humedad y absorción en la dosificación. ....	75
<b>Tabla 3.41.</b> Resultados de los ensayos de compresión a probetas de hormigón simple a los 7 días de edad. ....	83
<b>Tabla 3.42.</b> Resultados de los ensayos de compresión a probetas de hormigón simple a los 14 días de edad. ....	84
<b>Tabla 3.43.</b> Resultados de los ensayos de compresión a probetas de hormigón simple a los 28 días de edad. ....	85
<b>Tabla 3.44.</b> Resumen de Resistencias de los ensayos de compresión a probetas de hormigón simple. ....	86
<b>Tabla 3.45.</b> Resultados de los ensayos de compresión a probetas de hormigón simple + fibra de nylon a los 7 días de edad. ....	88
<b>Tabla 3.46.</b> Resultados de los ensayos de compresión a probetas de hormigón simple + fibra de nylon a los 14 días de edad. ....	89
<b>Tabla 3.47.</b> Resultados de los ensayos de compresión a probetas de hormigón simple + fibra de nylon a los 28 días de edad. ....	90
<b>Tabla 3.48.</b> Resumen de Resistencias de los ensayos de compresión a probetas de hormigón simple + fibras de nylon. ....	91
<b>Tabla 3.49.</b> Resultados de los ensayos de compresión a probetas de hormigón simple + fibra de polipropileno a los 7 días de edad. ....	93
<b>Tabla 3.50.</b> Resultados de los ensayos de compresión a probetas de hormigón simple + fibra de polipropileno a los 14 días de edad. ....	94

<b>Tabla 3.51.</b> Resultados de los ensayos de compresión a probetas de hormigón simple + fibra de polipropileno a los 28 días de edad. ....	95
<b>Tabla 3.52.</b> Resumen de Resistencias de los ensayos de compresión a probetas de hormigón simple + fibras de polipropileno .....	96
<b>Tabla 3.53.</b> Resumen de las resistencia a compresión de los diferentes tipos de cilindros con sus respectivas fibras.....	98
<b>Tabla 3.54.</b> Resultados de los ensayos de flexo-tracción a vigas de hormigón simple a los 7 días de edad. ....	101
<b>Tabla 3.55.</b> Resultados de los ensayos de flexo-tracción a vigas de hormigón simple a los 14 días de edad.....	102
<b>Tabla 3.56.</b> Resultados de los ensayos de flexo-tracción a vigas de hormigón simple a los 28 días de edad.....	103
<b>Tabla 3.57.</b> Resumen de Resistencias de los ensayos de flexo-tracción a vigas de hormigón simple .....	104
<b>Tabla 3.58.</b> Resultados de los ensayos de flexo-tracción a vigas de hormigón simple + fibras de nylon a los 7 días de edad. ....	106
<b>Tabla 3.59.</b> Resultados de los ensayos de flexo-tracción a vigas de hormigón simple + fibras de nylon a los 14 días de edad. ....	107
<b>Tabla 3.60.</b> Resultados de los ensayos de flexo-tracción a vigas de hormigón simple + fibras de nylon a los 28 días de edad. ....	108
<b>Tabla 3.61.</b> Resumen de Resistencias de los ensayos de flexo-tracción a vigas de hormigón simple + fibras de nylon .....	109
<b>Tabla 3.62.</b> Resultados de los ensayos de flexo-tracción a vigas de hormigón simple + fibras de polipropileno a los 7 días de edad. ....	111
<b>Tabla 3.63.</b> Resultados de los ensayos de flexo-tracción a vigas de hormigón simple + fibras de polipropileno a los 14 días de edad. ....	112
<b>Tabla 3.64.</b> Resultados de los ensayos de flexo-tracción a vigas de hormigón simple + fibras de polipropileno a los 28 días de edad. ....	113
<b>Tabla 3.65.</b> Resumen de Resistencias de los ensayos de flexo-tracción a vigas de hormigón simple + fibras de polipropileno .....	114
<b>Tabla 3.66.</b> Resumen de las resistencia a flexo-tracción de los diferentes tipos de vigas con sus respectivas fibras. ....	116

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1.</b> Representación del Módulo de Elasticidad.....	23
<b>Figura 1.2.</b> Diagrama Tensión Deformación del .....	25
<b>Figura 1.3.</b> Diagrama de deformación Vs Tiempo. (Conrado Diaz & Rojas Santiago, 2012) .....	26
<b>Figura 1.4.</b> Fibra de nylon. (Autores de la Investigación) .....	31
<b>Figura 1.5.</b> Fibra de polipropileno. (Autores de la Investigación) .....	33
<b>Figura 1.6.</b> Alineación de las fibras en el concreto. (Autores de la Investigación) .....	34
<b>Figura 2.7.</b> Granulometría del agregado grueso. (Autores de la Investigación) .....	50
<b>Figura 2.8.</b> Granulometría del agregado fino. (Autores de la Investigación) .....	58
<b>Figura 2.9.</b> Asentamientos a utilizarse para el diseño de hormigón. (Fuente: Autores de la Investigación) .....	64
<b>Figura 2.10.</b> Tamaño del agregado grueso a utilizarse para el diseño del hormigón. (Autores de la Investigación) .....	64
<b>Figura 2.11.</b> Cantidad de agua a utilizarse para el diseño de hormigón. (Autores de la Investigación) .....	65
<b>Figura 2.12.</b> Relación agua /cemento a utilizarse para el diseño del hormigón (Autores de la Investigación).....	65
<b>Figura 2.13.</b> Cálculo de volumen aparente (Autores de la Investigación). .....	67
<b>Figura 2.14.</b> Determinación de la masa del concreto (Autores de la Investigación).....	67
<b>Figura 2.15.</b> Máquina para realizar ensayos a compresión. (Autores de la Investigación).....	76
<b>Figura 2.16.</b> Viga cargada en los puntos tercios (NRMCA, National Ready Mixed Concrete Association, 2013).....	77
<b>Figura 2.17.</b> Viga cargada en el punto medio (NRMCA, National Ready Mixed Concrete Association, 2013) .....	77
<b>Figura 2.18.</b> Vigas apoyadas solicitadas por dos cargas. (Autores de la Investigación).....	79
<b>Figura 2.19.</b> Determinación del momento máximo. (Autores de la Investigación) .....	79



<b>Figura 2.20.</b> Datos y vista de viga (Autores de la Investigación).....	80
Figura 2.21. Máquina para realizar ensayos a tracción. (Autores de la Investigación).....	81
<b>Figura 3.22.</b> Resumen de resistencias de los ensayos de compresión a probetas de hormigón simple en la curva Resistencia Vs Tiempo (Autores de la Investigación).....	86
<b>Figura 3.23.</b> Resumen de resistencias de los ensayos de compresión a probetas de hormigón simple en la curva de porcentaje Resistencia Vs Tiempo (Autores de la Investigación).....	87
<b>Figura 3.24.</b> Resumen de resistencias de los ensayos de compresión a probetas de hormigón simple + fibras de nylon en la curva Resistencia Vs Tiempo (Autores de la Investigación).....	91
<b>Figura 3.25.</b> Resumen de resistencias de los ensayos de compresión a probetas de hormigón simple + fibras de nylon en la curva de porcentaje Resistencia Vs Tiempo (Autores de la Investigación).....	92
<b>Figura 3.26.</b> Resumen de resistencias de los ensayos de compresión a probetas de hormigón simple + fibras de polipropileno en la curva Resistencia Vs Tiempo (Autores de la Investigación).....	96
<b>Figura 3. 27.</b> Resumen de resistencias de los ensayos de compresión a probetas de hormigón simple + fibras de nylon en la curva de porcentaje Resistencia Vs Tiempo (Autores de la Investigación).....	97
<b>Figura 3.28.</b> Resumen de las resistencia a compresión de los diferentes tipos de cilindros con sus respectivas fibras en la curva Resistencia Vs Tiempo (Autores de la Investigación).....	98
<b>Figura 3.29.</b> Resumen de las resistencia a compresión de los diferentes tipos de cilindros con sus respectivas fibras en la curva porcentaje Resistencia Vs Tiempo. (Autores de la Investigación). .....	99
<b>Figura 3.30.</b> Cuadro estadístico de resistencias del ensayo de compresión de los diferentes especímenes. . (Autores de la Investigación).....	100
<b>Figura 3.31.</b> Cuadro estadístico de porcentaje de resistencias del ensayo de compresión de los diferentes especímenes. . (Autores de la Investigación). .	100
<b>Figura 3.32.</b> Resumen de resistencias de los ensayos de flexo-tracción a vigas de hormigón simple en la curva Resistencia Vs Tiempo. (Autores de la Investigación).....	104

<b>Figura 3.33.</b> Resumen de resistencias de los ensayos de flexo-tracción a vigas de hormigón simple en la curva de porcentaje Resistencia Vs Tiempo. (Autores de la Investigación). .....	105
<b>Figura 3.34.</b> Resumen de resistencias de los ensayos de flexo-tracción a vigas de hormigón simple + fibras de nylon en la curva Resistencia Vs Tiempo. (Autores de la Investigación). .....	109
<b>Figura 3.35.</b> Resumen de resistencias de los ensayos de flexo-tracción a vigas de hormigón simple + fibra de nylon en la curva de porcentaje Resistencia Vs Tiempo. (Autores de la Investigación). .....	110
<b>Figura 3.36.</b> Resumen de resistencias de los ensayos de flexo-tracción a vigas de hormigón simple + fibras de polipropileno en la curva Resistencia Vs Tiempo. (Autores de la Investigación). .....	114
<b>Figura 3.37.</b> Resumen de resistencias de los ensayos de flexo-tracción a vigas de hormigón simple + fibra de nylon en la curva de porcentaje Resistencia Vs Tiempo. (Autores de la Investigación). .....	115
<b>Figura 3.38.</b> Resumen de las resistencia a flexo-tracción de los diferentes tipos de vigas con sus respectivas fibras en la curva Resistencia Vs Tiempo. (Autores de la Investigación). .....	116
<b>Figura 3.39.</b> Resumen de las resistencia a flexo-tracción de los diferentes tipos de vigas con sus respectivas fibras en la curva porcentaje Resistencia Vs Tiempo. (Autores de la Investigación). .....	117
<b>Figura 3.40.</b> Cuadro estadístico de resistencias del ensayo de flexo-tracción de los diferentes especímenes. . (Autores de la Investigación). .....	118
<b>Figura 3.41.</b> Cuadro estadístico de porcentaje de resistencias del ensayo de flexo-tracción de los diferentes especímenes. . (Autores de la Investigación). .....	118

## INTRODUCCIÓN

El hormigón es un elemento heterogéneo, su calidad depende mucho de los materiales a usar, del método de diseño a emplear en las distintas obras y del procedimiento de mezclado, transporte, colocación y curado, a consecuencia de esto pueden ocurrir variaciones en las propiedades mecánicas.

A través del tiempo el hormigón se ha convertido para los ingenieros civiles en un material muy solicitado por distintos motivos, ya que se obtiene una mejor trabajabilidad en la mezcla puesto que puede ser moldeado de diversas formas y tamaños, además de no sufrir un serio deterioro debido a una gran resistencia a la acción del agua.

El concreto es una combinación entre el cemento, agregados finos, agregados gruesos, agua, en algunos casos se puede emplear los aditivos, y también otro tipo de agregados como son las fibras de polipropileno y nylon que se implementan en el hormigón, dando como resultado una piedra artificial.

Para obtener una resistencia requerida es necesario realizar una correcta dosificación al hormigón, muchas veces éste procedimiento es ignorado dando como resultado resistencias inferiores a la establecida; los materiales juegan un papel muy importante en la calidad del hormigón, es por esto que cada uno de ellos deben ser ensayados y revisados si cumplen con los parámetros y límites permitidos en las normativas.

Una de las características principales del hormigón es su elevada resistencia a la compresión, pero muy poca resistencia a la tracción; en obras para aumentar la resistencia a la tracción es necesario incluirle armaduras de acero para que soporten dichos esfuerzos.

En sus inicios las primeras fibras añadidas al hormigón fueron de acero las cuales producían mejores propiedades al concreto; a través del tiempo y de las múltiples investigaciones realizadas, el desarrollo de las fibras sintéticas en el hormigón iban aumentando considerablemente ofreciendo ventajas adicionales como son la de un menor peso y sobre todo carencia de corrosión en este tipo de fibras.

Las fibras sintéticas son fabricadas en base a materiales como arámida, carbón, polietileno, polipropileno, poliéster y nylon. Por lo general estos tipos de fibras presentan una significativa elevación de la resistencia en el hormigón.

Una de las principales ventajas que se puede mencionar mediante la utilización de fibras sintéticas en el hormigón es la fácil adherencia entre la matriz y la fibra. Por otra parte, se puede anunciar que la incorporación de fibras sintéticas es la más apropiada por ser químicamente inerte, estables y ser resistentes a las sales orgánicas de esta manera no producir corrosión interna.

Existen investigaciones que comprueban la evolución del hormigón reforzado con fibra; éste es el caso de México, en la ciudad de Michoacán en donde se realizó la construcción del complejo “Villacero Logistics”, dicha obra se encontraba sujeta a una alta concentración de sales orgánicas por ser una localidad costera, ante dicha problemática se encontró la solución de incorporar la fibra de polipropileno como agregado en el hormigón (Carreño , 2011).

En el Ecuador se han realizado ensayos de hormigón incorporándoles fibras de polipropileno, carbono, vidrio y nylon, tales es el caso de la Universidad Técnica de Ambato quienes analizaron el comportamiento del hormigón reforzado con fibras de polipropileno y su influencia en sus propiedades mecánicas, también se hicieron investigaciones en la Universidad Central del Ecuador quienes diseñaron hormigones con fibra de polipropileno y nylon para resistencias a la compresión de 21 y 28 Mpa (Barros Fierro & Ramirez Cueva, 2012).

En la Universidad Laica “Eloy Alfaro de Manabí” de la ciudad de Manta, se ha estudiado el comportamiento de las diferentes fibras de vidrio y carbono en el hormigón como refuerzo (Perez Ostaiza & Saldarriaga Lopez, 2015).

Algunos contratistas incorporan la fibra al hormigón con la idea de que éste material reemplace el refuerzo estructural, pero este tipo de fibra no sustituye el refuerzo estructural en el concreto, más bien funciona como un agregado adicional al hormigón para aumentar la resistencia del mismo, dependiendo de los diferentes tipos de fibras que se usen, como son: vidrio, carbono,

polipropileno, nylon, etc., ya que unas aumentan más que otras, y también depende mucho la autorización del dueño de la obra si las incorpora o la omite.

El estudio y las investigaciones que se han venido desarrollando durante las últimas décadas dan como resultado nuevas tecnologías en el descubrimiento de fibras con el objetivo de mejorar las propiedades del hormigón, este es el caso de la fibra de polipropileno y nylon, razón por la cual en la siguiente investigación se las incluirá al concreto para determinar cuál de las dos fibras presentan una mayor resistencia a la compresión y flexo-tracción.

### **Problema de investigación**

En la actualidad la industria de la construcción en nuestro país es muy apegada a las tradiciones, motivo por el cual las fibras son subvaloradas ya que se consideran nuevas y muy poco probadas, de esta manera se genera poca innovación y se produce un desconocimiento sin saber las características y propiedades que brindan estas fibras al incluirlas en el hormigón.

### **Objeto de investigación**

Reforzamiento del hormigón con fibra de polipropileno y fibra de nylon.

### **Campo de la investigación**

Reforzamiento estructural del Hormigón.

### **Antecedentes y justificación del problema**

A través del tiempo el concreto se ha convertido en un material por excelencia, el hormigón es un elemento imprescindible en las construcciones, tales como tuberías, pavimentos de carretera, puentes, túneles, presas, edificaciones, entre otras, ¡el hormigón forma parte de nuestras vidas!

El diseño de la mezcla es un factor de suma importancia en la elaboración de un hormigón ya que la dosificación juega un papel primordial en el resultado que se obtiene del concreto.

Es fundamental conocer las principales ventajas del hormigón, puesto que este material de construcción se adapta al entorno en condiciones normales. Pese a

esto aún teniendo una correcta dosificación, el concreto puede presentar limitaciones en determinadas circunstancias, esto implica que se deben introducir ciertas modificaciones en su constitución o tecnología, básicamente con la incorporación y sustitución de otros materiales que permitan mejorar la eficiencia del concreto.

A lo largo de la historia el uso de fibras para intentar el mejoramiento del concreto es muy arcaico, un ejemplo claro surgió en los años 1847 con el estadounidense Joseph-Louis quien implementó el uso de alambres y mallas en el hormigón como refuerzo, de esta manera creando un material nuevo de construcción. La información que se detalla fue recopilada en la tesis de investigación “Diseño de hormigones con fibras de polipropileno para resistencias a la compresión de 210 y 280 Kg/cm<sup>2</sup> con agregados de la cantera de Pifo” desarrollada por los Ing. Verónica Barro Fierro y Hugo Ramírez Cueva.

Otros estudios realizados por parte de Porter en 1910 y por Graham en 1911 sugieren la utilización de las primeras fibras de acero para aumentar la resistencia del hormigón así como la estabilidad. En Estados Unidos se realizó el primer invento en 1914 por William Ficklin para preservar la creación de un hormigón resistente al desgaste y fisuración, incorporando al concreto virutas metálicas, asimismo se inician los estudios acerca de las propiedades físico-mecánicas del hormigón masivo al cual le fueron incluyendo “clavos picados” y pedazos de piezas metálicas.

Ya en los años 50 se realizaron estudios e investigaciones acerca de la fibra de vidrio en el hormigón determinando resultados favorables en sus propiedades. La inclusión de estas fibras, consiste en adicionar a la estructura del hormigón una red de pequeñas armaduras que le dan una mayor unión; entre tanto en los años 60 aparecieron estudios relacionados con las fibras sintéticas.

Las fibras sintéticas en los últimos años han sido utilizadas para el mejoramiento de las propiedades que el hormigón armado no posee, esta aplicación de las fibras sintéticas se la utiliza para prevenir formación de grietas.

Adicionalmente en las propiedades mecánicas las fibras sintéticas trabajan de manera eficiente contra la corrosión debido a que el hormigón armado posee un serio problema ante este evento. Otra de las características importantes de las fibras sintéticas es que no se produzca fácilmente una pérdida de humedad, ya sea por diferentes acontecimientos como son: agentes climáticos y absorción por parte del encofrado. En la actualidad los constructores en nuestro país realizan su trabajo de manera tradicional, dando como resultado la poca innovación. Los diferentes estudios y análisis que se realizan a las fibras muestran resultados positivos, pese a que en nuestro país esta tecnología es subvalorada y poco usada, se debería incrementar esta tendencia que es parte de países extranjeros.

### **Objetivo general**

Analizar modelos de hormigón mediante la inclusión de fibra de polipropileno y la fibra de nylon, a través de ensayos a compresión y tracción en el laboratorio.

### **Objetivos específicos**

- Verificar que los agregados se encuentren dentro de los límites permisibles, para el diseño de un hormigón de  $210 \text{ kg/cm}^2$ .
- Ensayar a compresión cilindros de hormigón incorporando fibra de polipropileno y nylon.
- Ensayar a tracción vigas de hormigón incorporando fibra de polipropileno y nylon.
- Realizar comparaciones entre la fibra de polipropileno y la fibra de nylon.

## Hipótesis

Al incluirle al hormigón fibra de polipropileno y fibra de nylon aumentará la resistencia del mismo.

## Métodos

Los métodos a utilizar en esta investigación son:

- **Deductivo:** Con este método partiremos de datos aceptados como válidos extraídos de artículos científicos para llegar a una conclusión de tipo particular.
- **Experimental:** Se realizarán una serie de procedimientos prácticos con el objetivo y las investigaciones respectivas que permiten revelar las características fundamentales y relaciones esenciales de la fibra de polipropileno y nylon como refuerzo del hormigón.
- **Comparativo:** Se realizarán ensayos con las distintas fibras sintéticas utilizadas en esta investigación para comparar su resistencia.

## Técnicas

- **Entrevistas:** Se tomarán criterios de profesionales con experiencia en este tipo de reforzamientos de estructuras para obtener consejos experimentales de esta práctica.
- **Ficha de observación experimental:** En arqueo bibliográfico realizaremos la revisión general de una serie de fuentes de información en torno al tema, pero que se tiene una idea de algo específico, y que esperamos definir a lo largo de esta búsqueda llamada arqueo.

## Procedimientos

En la presente investigación se presentaran los resultados del comportamiento de hormigón con fibra de polipropileno y nylon, estos resultados se obtendrán mediante los ensayos de compresión y flexo tracción a realizarse en el



laboratorio de suelos, hormigón y asfalto “Bolívar Ortiz Logroño” de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí.

Se obtendrán las curvas Resistencia Vs. Tiempo para estos 2 casos y se compararan los valores alcanzados en los distintos ensayos realizados.

### **Visita técnica a los distribuidores de fibra**

Se realizará una visita a los diferentes distribuidores de fibra para recopilar información y precios acerca de la misma.

### **Elaboración de las muestras para realizar los diferentes tipos de ensayo.**

Los ensayos a realizar en el laboratorio de Mecánica de Suelos, hormigón y asfalto “Bolívar Ortiz Logroño” de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, serán la máquina de compresión y flexo-tracción y el diseño de hormigón se dará con una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>.

En el ensayo de compresión se realizarán los siguientes especímenes:

#### Hormigón sin fibra.

- 5 cilindros de 7 días de edad
- 5 cilindros de 14 días de edad
- 5 cilindros de 28 días de edad

#### Hormigón con fibra de polipropileno.

- 5 cilindros de 7 días de edad
- 5 cilindros de 14 días de edad
- 5 cilindros de 28 días de edad

#### Hormigón con fibra de nylon.

- 5 cilindros de 7 días de edad
- 5 cilindros de 14 días de edad
- 5 cilindros de 28 días de edad

En el ensayo de flexo-tracción se realizarán los siguientes especímenes:

### Hormigón sin fibra.

- 3 vigas de 7 días edad
- 3 vigas de 14 días edad
- 3 vigas de 28 días edad

### Hormigón con fibra de polipropileno.

- 3 vigas de 7 días edad
- 3 vigas de 14 días edad
- 3 vigas de 28 días edad

### Hormigón con fibra de nylon.

- 3 vigas de 7 días edad
- 3 vigas de 14 días edad
- 3 vigas de 28 días edad

### **Análisis de los resultados obtenidos.**

Se analizarán cada uno de los resultados de las muestras obtenidas en el laboratorio, logrando comparar cuál de los dos tipos de fibras implementadas como agregados en el hormigón es el más óptimo a utilizar.

# CAPÍTULO I

## 1. ANÁLISIS DEL HORMIGÓN SIMPLE, FIBRAS DE POLIPROPILENO Y FIBRAS DE NYLON.

### 1.1. Antecedentes de la investigación

Puesto a que el tema de la fibra de polipropileno y de nylon es una investigación limitada y novedosa, es necesario acudir a diferentes documentos que estén encaminados específicamente hacia el campo de la ingeniería civil y dirigida hacia el área de hormigones y de fibras, las cuales están formadas por las siguientes investigaciones:

“La adición de fibras al hormigón es la técnica más efectiva para evitar o controlar la formación de grietas. De todas las fibras conocidas en el mercado, la fibras de polipropileno son las más efectivas, considerando que el polipropileno es económico e inerte a ambientes de PH alto y además fácil de dispersar” (Barros Fierro & Ramirez Cueva, 2012).

El aporte que genera esta investigación es el costo beneficio que el polipropileno aporta al hormigón siendo este un material económico, eficiente en ambientes de PH alto, fácil de dispersar y evitar las fisuras.

“La adición de fibras en el hormigón proporciona una mejor ductilidad, resistencia, y el aumento de las características mecánicas del mismo, así como su carga de rotura” (Conrado Diaz & Rojas Santiago, 2012).

La contribución que brinda esta investigación es la optimización que posee el hormigón al añadirle las fibras de polipropileno, de tal manera que aumenta el módulo de rotura del concreto, las cuales producen grandes resistencias de la estructura.

“El concreto con fibra de polipropileno se ha empleado en variadas aplicaciones siendo las más frecuentes en la construcción de pisos industriales de alto desempeño, pavimentos, cubiertas para puentes, concreto lanzado para la estabilización de taludes, revestimiento de túneles, elementos estructurales prefabricados, bóvedas, entre otras” (Mendoza & Davila, 2011).

Esta investigación ha aportado que las fibras de polipropileno es conveniente utilizarlas en estructuras livianas como las mencionadas en dicha cita.

“La fibra de nylon es particularmente efectivo para impartir resistencia al impacto y tenacidad a flexión y para sostener e incrementar la capacidad para soportar cargas del concreto” (IMCYC, 2007).

El aporte que brinda esta revista acerca de la fibra de nylon es que la resistencia que posee dicho material es efectiva ante las condiciones climáticas y esfuerzos a flexión, así como también la fibra es capaz de sostener e incrementar la capacidad de soportar cargas.

“El nylon es estable en el calor, hidrófilo, relativamente inerte y resistente a una gran variedad de materiales” (Millán Castillo, 2013).

El aporte que nos genera esta investigación acerca fibra de nylon es que siendo un elemento de menor tamaño es capaz de absorber agua, ser estable ante el calor de esta manera tenga un buen fraguado antes del endurecimiento.

## **1.2. Fundamentación teórica.**

### **1.2.1. El Hormigón**

#### **1.2.1.1. Generalidades**

El hormigón es un material indispensable para las diversas construcciones, y se lo obtiene mediante una mezcla entre el cemento, agua, agregados finos y gruesos y en algunos casos aditivos, endureciéndose y teniendo un aspecto igual al de una piedra natural.

Al reaccionar químicamente el cemento y el agua forman una masa sólida; cuando se realizan diversos diseños de mezcla de concreto se puede obtener diferentes resistencias del hormigón, dependiendo también de los métodos empleados y el respectivo curado que se le realice posteriormente.

El hormigón es un elemento moldeable, ya que se adapta a las distintas formas en la que se encuentran dispuestos los encofrados; pero para esto es necesario agregarle la cantidad adecuada de agua para brindarle una mejor trabajabilidad a la mezcla.

El hormigón es un material eficiente ante la compresión ya que posee una alta resistencia a la misma; pero presenta una gran deficiencia ante los esfuerzos producidos por tracción, por lo que se debe utilizar otro tipo de materiales como es el caso del acero y diferentes tipos de fibras, para compensar esos esfuerzos.

Se pueden modificar ciertas características y comportamientos del hormigón al añadir algún tipo de aditivo, existiendo una gran variedad de ellos como son: aceleradores, retardadores de fraguado, colorantes, impermeabilizantes, fluidificantes, fibras, entre otros.

Cuando se presenta algún proyecto de ingeniería se establecen ciertas dimensiones de los elementos, el tipo de hormigón, los aditivos a usar, y la cantidad de acero que se requiere para soportar los esfuerzos y así mismo las condiciones ambientales que estarán expuestas las estructuras.

Su utilización es habitual en obras arquitectónicas e ingenieriles, entre los que se puede mencionar: edificios, puentes, puertos, diques, canales, túneles, entre otros, incluso se usa el hormigón en estructuras de acero, ya que estas conforman la cimentación de la misma.

#### **1.2.1.2. Propiedades físicas y mecánicas**

“El proceso de fraguado y endurecimiento es el resultado de reacciones químicas de hidratación entre los componentes del cemento. La fase inicial de hidratación se llama fraguado y se caracteriza por el cambio de estado de la mezcla de fluido a sólido” (Conrado Diaz & Rojas Santiago, 2012).

Posteriormente las reacciones de hidratación continúan, hasta que se produzca el endurecimiento de la mezcla y alcance un desarrollo en las propiedades mecánicas.

Es recomendable colocar la mezcla de hormigón en el encofrado durante los primeros 30 minutos de haber sido elaborado y antes de que comience el fraguado, cuando se presentan ciertos inconvenientes para el transporte del hormigón, se recurre a los aditivos retardantes del fraguado los cuales están

compuestos de anhídrido sulfúrico o de yeso. Así mismo, para acelerar el fraguado se usan sustancias de sales o alcalinas como el cloruro de calcio.

### **1.2.1.3. Propiedades del hormigón fresco**

Se denomina propiedad del hormigón a la capacidad que posee para que pueda ser moldeable y trabajable de una manera adecuada, el concreto fresco está comprendido entre el amasado, hasta cuando empieza el proceso de fraguado del concreto.

Dentro de las propiedades del hormigón fresco se pueden destacar las siguientes:

- Consistencia
- Trabajabilidad
- Homogeneidad
- Masa específica
- Cohesividad
- Exudación del agua de amasado
- Fraguado falso

#### **Consistencia**

Es la deformación que tiene el hormigón con mayor o menor facilidad, esto varía de acuerdo a la cantidad de agua de la mezcla, tamaño máximo de los agregados, granulometría y forma de los áridos, etc.

La consistencia de un hormigón fresco se la puede evaluar mediante el cono de Abrams, este procedimiento permitirá localizar los cambios entre diversas mezclas de hormigón.

“El Cono de Abrams en un molde troncónico de 30 cm de altura y de 10 y 20 cm de diámetro, superior e inferior respectivamente, en donde se coloca el hormigón extraído de la descarga, mas no del hormigón colocado en encofrados o en el suelo, donde después de haber sido compactado en tres capas de cada tercio del cono con 25 golpes, se retira el molde levantándolo verticalmente sin causar ningún movimiento al hormigón. Retirado el molde se

procede a medir el asentamiento de la mezcla de hormigón determinando la diferencia entre la altura del molde y la del punto más alto de la muestra una vez asentada. Tal medida determina el valor de la consistencia conforme la Tabla No 1” (Conrado Diaz & Rojas Santiago, 2012).

**Tabla 1.1.** Consistencia del Hormigón

<b>TIPO DE CONSISTENCIA</b>	<b>ASENTAMIENTO (cm)</b>
Seca	0 – 2
Plástica	3 – 5
Blanda	6 – 9
Flúida	10 – 15
Líquida	16 – 20

**Fuente:** (Conrado Diaz & Rojas Santiago, 2012)

### **Trabajabilidad**

Se denomina trabajabilidad del hormigón a la facilidad con la que ésta se puede mezclar, manejar, transportar y vaciar en su destino final, en la que exista una pérdida mínima de homogeneidad.

Dentro de los factores que afectan la trabajabilidad podemos mencionar los siguientes:

- Los agregados que presentan aristas, triturados y que sean alargados
- La cantidad de agua en la mezcla
- Granulometría de arenas
- Cantidad y finura de cemento

La trabajabilidad del hormigón se la puede evaluar mediante el cono de Abrams, donde hay que tener presente el asentamiento del mismo, entre mayor sea dicho asentamiento mayor es la trabajabilidad del hormigón.

## **Homogeneidad**

Es la distribución de los componentes del hormigón en toda la masa, donde depende de la calidad de los materiales a utilizar para adquirir una excelente homogeneidad.

Adicionalmente se puede mencionar que la homogeneidad en el hormigón se encuentra vinculada con un buen amasado, excelente transporte y una colocación oportuna.

Dentro de los factores que afectan la homogeneidad podemos mencionar los siguientes:

- Segregación: Es la distribución de partículas no uniformes, debido a la separación de los agregados gruesos y finos.
- Decantación: Se produce cuando los agregados gruesos van directamente al fondo y queda una parte descubierta en el hormigón.

Estos dos factores pueden aumentar debido al contenido del agua, tamaño del agregado, vibraciones durante el transporte y la puesta en obra.

## **Masa específica**

La masa específica del hormigón es un valor muy importante ya que indica la uniformidad que presenta el concreto en el transcurso de una obra.

Dentro de los factores que afectan la masa específica del hormigón podemos mencionar los siguientes:

- Variado contenido de cemento
- Diversas características hacia la mezcla
- Modificación granulométricas de áridos

## **Cohesividad**

Es aquella propiedad que controla la segregación durante el periodo de mezcla y la compactación del hormigón. Se puede determinar que la cohesividad sea



apropiada cuando la mezcla no sea demasiado plástica ni viscosa y tener precaución al momento de ser vertida la mezcla.

### **Exudación del agua del amasado**

O también conocido como exceso de agua, se define como la aparición de cierta cantidad del agua en la superficie del hormigón fresco; la cual también va acompañada por una sedimentación de agregados. Este efecto debe ser considerado en las obras de edificación, principalmente en los puntos de unión entre las columnas y muros con respecto a las cadenas, losas y vigas.

Para que esta propiedad no produzca efectos negativos se pueden tomar las siguientes medidas:

- Utilizar la cantidad adecuada de agregados finos en el hormigón
- Utilizar aditivo apropiados para eliminar el aire incorporado en el concreto.
- Controlar el humedecimiento de los materiales sólidos, mediante el aumento de tiempo de amasado del hormigón.

### **Fraguado falso**

O también conocido como endurecimiento prematuro, es aquel que se produce durante los primeros cinco minutos después del mezclado, este problema se puede evitar mediante el mezclado continuo, lo que permitiría que desaparezca el endurecimiento falso sin perder la calidad de la misma.

Dentro de los factores que afectan el fraguado falso del hormigón podemos mencionar los siguientes:

- Temperaturas ambientales, cuando se tiene una temperatura menor a 4°C el cemento no reacciona químicamente.
- Contenido de yeso, entre mayor sea la cantidad de yeso mayor será la tendencia a conseguir el fraguado falso
- Dimensionamiento del hormigón: A menor volumen de hormigón menor posibilidad de que se presente este fenómeno.

#### **1.2.1.4. Propiedades del hormigón endurecido**

Las propiedades físicas que presenta el hormigón endurecido pueden ser:

- Permeabilidad
- Densidad
- Retracción
- Compacidad

Las propiedades mecánicas que presenta el hormigón endurecido pueden ser:

- Resistencia a la compresión
- Resistencia a la tracción
- Resistencia al corte
- Resistencia al desgaste
- Módulo de elasticidad
- Durabilidad

#### **Permeabilidad**

“Podría entenderse por permeabilidad, de forma genérica, el grado de dificultad que ofrece el hormigón a que los fluidos penetren en su interior” (Alegre & Lechuga, 2014).

La impermeabilidad que presenta el hormigón debe ser un punto muy importante para adquirir una resistencia hacia los ataques químicos y agentes externos.

#### **Densidad**

La densidad del hormigón se denomina como la relación que existe entre el peso y la unidad de volumen, este depende de múltiples factores, como son: la calidad de los agregados finos y gruesos, granulometría y la compactación que se le realice; si la cantidad de agregados gruesos es alta y la compactación adecuada, mayor será la densidad del elemento.

Densidades de hormigones:

Hormigones ligeros:

- 200 – 1500 Kg/m<sup>3</sup>

Hormigones ordinarios

- Proyectados: 2500 – 2600 Kg/m<sup>3</sup>
- Centrifugados: 2400 – 2500 Kg/m<sup>3</sup>
- Vibrados: 2300 – 2400 Kg/m<sup>3</sup>
- Apisonados: 2000 – 2200 Kg/m<sup>3</sup>

Hormigones pesados

- 3000 – 4000 Kg/m<sup>3</sup>

### **Retracción**

Es la contracción del volumen del hormigón, durante el proceso de fraguado y endurecimiento, o también es conocido como la pérdida pausada del agua en el hormigón, a continuación se definen cinco estados que presenta este fenómeno:

- Agua de cristalización
- Agua de gel
- Agua intercrystalina
- Agua capilar o libre
- Agua de absorción

### **Compacidad**

Es la relación que existe entre los volúmenes reales y los volúmenes aparentes de los componentes del hormigón.

$$C = \frac{V_r}{V_a} = 1 - \frac{a}{100} \quad (1.1)$$

V<sub>r</sub> = Volumen real de los componentes del hormigón

Va = Volumen aparente del hormigón

$a$  = Cantidad del agua

Nota: no incluye el aire atrapado

Con dosificaciones adecuadas y compactaciones precisas se llega a un 97 a 98% de efectividad en la compactación, pero en nuestros medios la compactación promedio se encuentra alrededor de un 90%.

La compactación influye en:

- Resistencia
- Durabilidad
- Impermeabilidad

### **Resistencia a la compresión**

La compresión es aquel mecanismo en donde el hormigón en forma de cilindro es sometido a incrementos de carga en una determinada máquina, por lo general los moldes tienen una dimensión de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura y se puede medir la resistencia entre los 7, 14, 21 y hasta 28 días de haber fraguado el hormigón.

Las resistencias que los hormigones pueden adquirir pueden ser:

- Pequeñas, se refiere a una resistencia menor que 210 kg/cm<sup>2</sup>.
- Normales, se refiere a una resistencia comprendida entre 210 – 280 Kg/cm<sup>2</sup>.
- Mediana, se refiere a una resistencia comprendida entre 350 – 420 Kg/cm<sup>2</sup>.
- Altas, se refiere a una resistencia mayor a los 420 Kg/cm<sup>2</sup>.

Se debe tener en cuenta los siguientes puntos en el hormigón:

- Si la relación agua/cemento es menor, entonces mayor será la resistencia.

- Si la compactación es eficaz y mayor, entonces mayor será la resistencia de los hormigones.
- Si la cantidad de cemento es mayor, entonces se tendrá mayores resistencias.
- Si la granulometría de los agregados son las adecuadas, mayor será la resistencia de los hormigones.

El código del ACI 5.3.2.1 establece la siguiente fórmula:

$$R = \frac{F}{A} \quad (1.2)$$

Dónde:

R = Resistencia a la compresión del hormigón.

F = Carga máxima

A = Área en contacto.

### **Ensayo de la resistencia a la compresión.**

El ensayo de resistencia a la compresión para un hormigón utilizando la fibra como agregado se lo realiza con la norma ASTM C39. Ésta normativa se usa para moldes que tengan 15 cm de diámetro y 30 cm de largo, los cilindros se moldearán en 3 capas y el compactado se lo debe realizar por medio de una varilla con 25 de golpes cada capa.

Posteriormente pasada las 24 horas se pueden realizar el desmoldado del hormigón y se la somete a condiciones extremas bajo agua donde permanecerá en un rango entre 7 y 28 días recomendables, dicha norma la establece ASTM C192. Los especímenes serán retirados del agua y no debe prolongarse mucho el tiempo antes de realizarse el ensayo. Una vez que se ha realizado el cabeceado a los moldes, se les aplicará una carga axial, y la velocidad de esfuerzo a compresión está comprendida entre 1.5 y 3.5 kg/cm<sup>2</sup>, lo que representa una carga entre 16 y 38 tn por minuto.

## **Resistencia a la tracción.**

La tracción no causa algún efecto en la parte resistente del hormigón, pero es necesario conocer ciertos fenómenos que pueden suceder en él, como son: el esfuerzo cortante, fisuración, adherencia de armaduras, entre otras.

En el caso de los pavimentos, es de gran importancia conocer la resistencia a la tracción, puesto a que indican la cohesión que puede presentar en lugar de la resistencia a la compresión.

El ensayo para determinar la resistencia a la tracción es de analizar una muestra de concreto con sección transversal rectangular, y presentaran un ensanchamiento en los extremos, la cuales permiten que las abrazaderas o agarres del equipo ejerzan fuerza de tracción sobre dicho elemento, por consiguiente se romperá la muestra en la parte central más débil. La resistencia a la tracción corresponde al 10% de la resistencia a la compresión.

Existen tres formas de obtener la resistencia a la tracción:

- Por flexión (a través de elementos prismáticos como las vigas)
- Por hendimiento o tracción indirecta (a través de cilindros)
- Por tracción axial o tracción directa (a través de cilindros)

En el primer método se utiliza la viga para realizar el ensayo de flexo tracción, o también denominado ensayo de tracción por flexión o módulo de rotura, consiste en aplicar dos cargas iguales y simétricas, colocadas a los tercios de la luz.

En el segundo método se utiliza el cilindro de manera horizontal, o también denominado ensayo de tracción por compresión diametral, consiste en aplicar fuerzas en sentido x en los 2 extremos de los cilindros.

En el tercer y último método se utiliza el cilindro de manera horizontal, pero este método es poco usado, consiste en ensanchar los 2 extremos de los cilindros.

La resistencia a la flexo-tracción es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada (varillas de acero).

La siguiente expresión la determinaron diversas investigaciones para el cálculo aproximado de un valor de esfuerzo de tracción que puede soportar el hormigón:

$$f_t = 0,10 (F'_c) \quad (1.3)$$

Dónde:

$f_t$  = Resistencia a la tracción del hormigón en kg/cm<sup>2</sup>

$F'_c$  = Resistencia a la compresión del hormigón en kg/cm<sup>2</sup>

A continuación se presenta una tabla con cantidades aproximadas de la resistencia a la tracción del hormigón:

**Tabla 1.2.** Resistencia a la compresión y resistencia a la tracción del hormigón.

Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la tracción (kg/cm <sup>2</sup> )
210	21
280	28
350	35
420	42
630	63
840	84

Fuente: Autores de la Investigación

### **Ensayo de la resistencia a la flexión.**

El ensayo de resistencia a la flexión para un hormigón utilizando la fibra como agregado se lo realiza con la norma ASTM C 1018, esta normativa se refiere a la fabricación de vigas con medidas de 10 cm x 10 cm x 50 cm, este ensayo consiste en colocar la viga de manera horizontal, y apoyada libremente en los extremos, después se le transmite a 2 cargas iguales a lo ancho de la viga en los tercios del mismo. Se recomienda utilizar un equipo servohidráulico con una capacidad de 25 tn y a velocidad de 0.1 mm/min, la falla de la viga debe ocurrir dentro del tercio central, el módulo de ruptura se determina en kg/cm<sup>2</sup>.

### **Resistencia al corte.**

La resistencia al corte del hormigón presenta una gran similitud en magnitud y comportamiento a la resistencia a la tracción. Para determinar la resistencia al corte se efectúa una prueba denominada corte directo, de esta manera se evita los esfuerzos máximos a flexión, sometiendo un hormigón a fuerzas paralelas y sentido inverso hasta que se fracture dicho elemento.

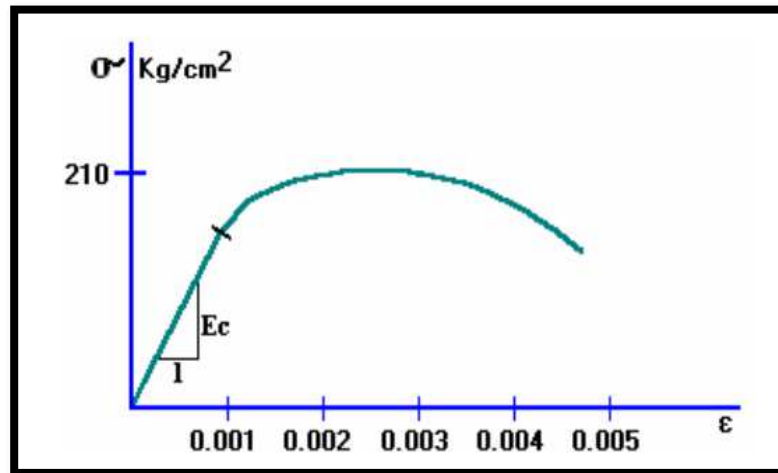
### **Resistencia al desgaste**

Cuando hablamos de la resistencia al desgaste del concreto nos referimos a una propiedad muy elevada, pero cabe recalcar que no solo basta con que el árido sea muy resistente, sino que también depende de la pasta realizada, ya que está propensa a que los áridos se suelten y queden libres por el desgaste.

### **Módulo de elasticidad**

Cuando en el laboratorio se realiza ensayos a través de probetas sometidas a esfuerzos de compresión creciente hasta llevarlas a la falla, podemos deducir que el hormigón no es un material eminentemente elástico. Cabe recalcar que cada uno de los niveles de esfuerzo tiene una deformación unitaria del hormigón, por el cual también se encuentra una curva en el rango de comportamiento lineal el cual recibe el nombre de Módulo de Young o Módulo de elasticidad.





**Figura 1.1.** Representación del Módulo de Elasticidad del concreto. (Conrado Diaz & Rojas Santiago, 2012)

El módulo de elasticidad del hormigón es distinto para diversas resistencias a la compresión y aumenta su valor cuando es mayor la resistencia del mismo.

El ACI 318S-08 8.5.1. (American Concrete Institute), sugiere a través de experimentos lo siguiente:

$$M_{EL} = 15100 \sqrt{f_c} \quad (1.4)$$

Dónde:

$M_{EL}$  = Módulo de elasticidad.

$f_c$  = Resistencia a la compresión del hormigón en  $Kg/cm^2$

Esta ecuación es utilizada para hormigones con resistencias normales y medias y con un peso específico normal. La siguiente tabla relaciona el módulo de elasticidad con la resistencia del hormigón.

**Tabla 1.3.** Módulos de elasticidad de hormigones de diferentes resistencias.

<b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>MODULO DE ELASTICIDAD (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
210	218820
280	252671
350	282495
420	309458

**Fuente:** Autores de la Investigación

## **Durabilidad**

Además de tener múltiples propiedades el hormigón también debe presentar una propiedad llamada durabilidad. El concreto en ocasiones puede verse afectado por el ataque químico dependiendo en donde se encuentre, pero sin embargo la durabilidad debe ser muy alta. Pero aun así, si el hormigón está expuesto en lugares agresivos, si se consigue elegir materiales de buena calidad, se puede conseguir resultados aceptables.

El agua y el mecanismo de transporte son dos elementos que influyen mucho en lo que es la durabilidad del concreto tanto en masa como en armado, por medio de gases, fisuras, poros, agua y agentes agresivos.

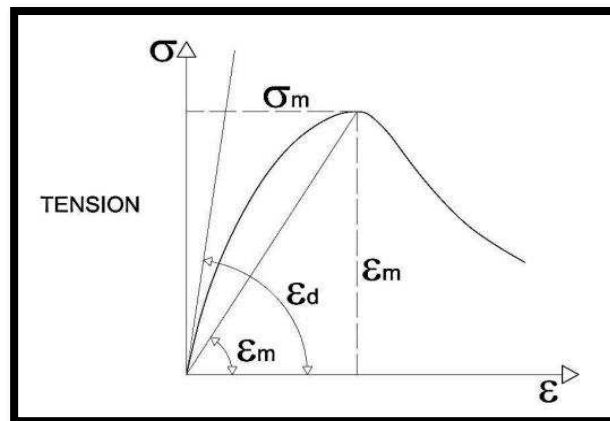
### **1.2.1.5. Comportamiento elástico e inelástico del hormigón**

#### **Comportamiento elástico del hormigón**

Es muy importante conocer las propiedades elásticas de los hormigones para de esta manera establecer ciertas relaciones existentes entre las tensiones y deformaciones. Este tipo de relaciones se lo llega a establecer a través del módulo de elasticidad o también conocido como el módulo de Young.

Los hormigones de mayor resistencia suele presentar a menudo una menor capacidad de deformación, mientras que por otro lado los hormigones que poseen menor resistencia la capacidad de deformarse son mucho mayor.

Cuando las cargas de roturas son menores que el 70% se produce un comportamiento lineal correspondiente al primer rango que presentan todos los hormigones; cuando las cargas de roturas son altas se producen comportamiento no lineal e inelástico. Y por último se presenta un tercer rango curvo, la cual va a descender hasta la tensión de rotura.



**Figura 1.2.** Diagrama Tensión Deformación del Hormigón. (Autores de la Investigación)

En consecuencia, el hormigón deberá mantenerse como un material homogéneo, es decir en forma recta. Al aparecer ciertas microfisuras en el concreto va perdiendo dicha forma, pero aun así el hormigón es capaz de absorber estas cargas e irse deformando. Cuando el concreto llega a la rotura total y ya no es capaz de receptor cargas, se debe a que el mortero se ha fracturado en su totalidad.

### **Comportamiento inelástico del hormigón**

La fluencia del hormigón es una deformación que se produce cuando una carga se encuentra aplicada durante un largo tiempo, es decir, se presenta un comportamiento plástico.

Para determinar la pérdida de una tensión aplicada, es necesario realizar un análisis estructural que nos indique la deformación que pueda presentar un elemento de hormigón armado. Existen dos tipos de fenómenos: la fluencia básica y la retracción hidráulica adicional.

Existen ciertos factores que limitan la fluencia del hormigón, como son:

- Características del hormigón (tipo y dosis de cemento)
- La humedad que pueda presentar el ambiente
- La magnitud de la tensión aplicada
- El tiempo que dura la aplicación del hormigón

#### 1.2.1.6. Deformaciones

Al momento en que el concreto es sometido a cargas permanentes, se puede presentar dos situaciones: la primera cuando el hormigón se deforma instantáneamente al momento de aplicar las primeras cargas y la segunda es una deformación adicional a largo plazo producida por el flujo plástico del hormigón.

La resistencia del concreto está vinculada con la deformación a largo plazo; cuando se utilizan hormigones de menor resistencia es mayor la deformación.

Para comprender las deformaciones de los hormigones se debe tomar de referencia el diagrama de deformación unitaria Vs El Tiempo:

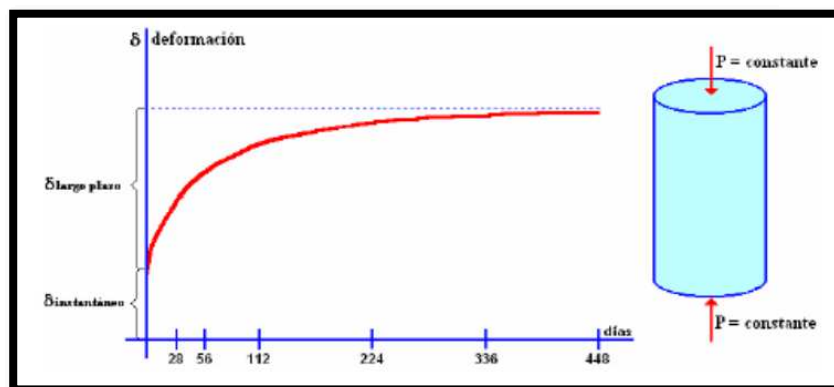


Figura 1.3. Diagrama de deformación Vs Tiempo. (Conrado Diaz & Rojas Santiago, 2012)

A continuación se indican los tipos de deformaciones que puede presentar el hormigón:

**Tabla 1.4.** Deformación del hormigón

DEFORMACIONES	DEPENDIENTES DE LA TENSIÓN		INDEPENDIENTE DE LA TENSIÓN
	INSTANTÁNEAS	DIFERIDAS (FLUENCIA)	
Reversibles	Elásticas	Elásticas diferidas	Termohigrométricas
Irreversibles	Remanentes	Plásticas diferidas	Retracción

**Fuente:** (Barros Fierro & Ramirez Cueva, 2012)

### 1.2.1.7. Componentes del hormigón

#### **Cemento**

“Los cementos son conglomerantes hidráulicos, esto es, productos que mezclados con agua forman pastas que fraguan y endurecen, dando lugar a productos hidratados mecánicamente resistentes y estables, tanto en el aire, como bajo agua” (Merlin, 2002).

#### **Agregados**

“Los agregados también son denominados como áridos, y se definen como fragmentos rocosos que proceden de la desintegración de las piedras naturales” (González Salcedo, 2008).

#### **Agua**

“Como norma general se considera que el agua es adecuada para producir mortero u hormigón si su composición química indica que es apta para el consumo humano, sin importar si ha tenido un tratamiento preliminar o no; es decir, casi cualquier agua natural que pueda beberse y que no tenga sabor u olor notable sirve para mezclar el mortero o el concreto. Sin embargo, el agua que sirve para preparar estas mezclas, puede no servir para beberla” (Riviera L, 2012).

## Aditivos

“Los aditivos añaden al mortero o al hormigón de base distintas cualidades, y se eligen en función de la aplicación que se le valla a dar al producto” (Merlin, 2002).

**Tabla 1.5.** Tipos de aditivos y efectos que producen en el hormigón.

Tipo de aditivo	Efecto
Colorante	Colorea el mortero o el hormigón que se utiliza para trabajos de acabado
Anticongelante	Favorece el fraguado del mortero o del hormigón en climas fríos
Resina	Sirve de fijador, plastifica e impermeabiliza
Endurecedor de superficie	Mejora la adherencia sobre aceites y grasas y es antipolvo
Hidrófugo e impermeabilizante	Impermeabiliza el mortero o el hormigón cuando se utilizan para hacer cimientos de muros enterrados, depósitos y piscinas
Plastificante	Proporciona a la masa una consistencia más líquida (sin añadir agua), lo que facilita su aplicación.
Retardador o acelerador de fraguado	Retrasa o acelera el fraguado del hormigón

**Fuente:** (Merlin, 2002)

## Fibras

“Las fibras son elementos de corta longitud y pequeñas sección que se incorpora a la masa del hormigón a fin de conferirle ciertas propiedades específicas” (Rodríguez, 2013).

### 1.2.1.8. Fibras en el hormigón

Las fibras en el hormigón son producidas a partir de diversos materiales como son: el acero, los polímeros o también conocidos como fibras sintéticas, el

acero, el sisal y el yute. Existen múltiples tipos de fibras que se encuentran en el mercado teniendo así las fibras de vidrio, de acero, sintéticas y naturales.

### **Fibras de vidrio**

La fibra de vidrio es un producto elaborado de arena de sílice, de origen mineral y otros productos tales como: la cal, alúmina, magnesia y ciertos óxidos, concentrado en un molde plástico, con todos estos componentes reunidos se efectúan ciertas transformaciones, para la realización de fibras de vidrios.

### **Fibras de acero**

Las fibras de acero son aquellas piezas cortas, las cuales son vertidas en una mezcla de hormigón utilizando los habituales procedimientos de mezclado. Las fibras de acero garantizan, ya sea en estado fresco o en estado duro una durabilidad.

La colocación de fibra en el hormigón dependerá mucho del ingeniero o arquitecto constructor, la dispersión de fibra que se realiza en el concreto va a proporcionar ciertas propiedades isotrópicas que serán diferentes a las propiedades de un hormigón común.

### **Fibras sintéticas**

Las fibras sintéticas son usadas en la industria de la construcción de hormigones. Este tipo de fibras fueron investigadas y desarrolladas en industrias petroquímicas y textiles, entre las cuales se pueden destacar las siguientes fibras: arámidas, nylon, carbón, polietileno, poliéster y polipropileno. Este tipo de fibra mejora las propiedades del hormigón, aumentando la resistencia, evitando ciertas fisuraciones y es muy adherible al concreto.

- **Fibras de arámidas**

Las fibras de arámidas poseen un alto módulo de tracción, por lo que adquieren una gran resistencia a la tracción. Este tipo de fibras son el doble de resistente

que la fibra de vidrio y cinco veces más resistentes que las fibras de acero. Dichas fibras se las pueden obtener en una gran variedad de diámetros.

Las fibras de arámidas además de poseer excelentes características como las mencionadas anteriormente, también son resistentes a altas temperaturas (160°C o 320°F), resistentes a la fatiga estática, dinámica y a la fluencia.

- **Fibras de nylon**

En el mercado podemos encontrar una gama de fibras de nylon que pueden ser empleadas para distintos tipos de usos como son: muebles domésticos, vestuarios, aplicaciones textiles e industriales; pero específicamente para ser usados en el hormigón se pueden encontrar dos tipos de fibras: nylon 6 y nylon 66. Las fibras de nylon presentan las siguientes características: ductilidad, tenacidad y una recuperación elástica.

La fibra de nylon tiene la capacidad de absorber agua fácilmente, es inerte y presenta resistencia a materiales orgánicos e inorgánicos, pese a que el nylon es hidrófilo no afecta la hidratación y la trabajabilidad del concreto.

**Tabla 1.6.** Características físicas de la fibra de nylon.

<b>Materiales</b>	Nylon virgen 100%
<b>Forma</b>	Monofilamentos
<b>Peso específico</b>	1.16 Kg/cm <sup>3</sup>
<b>Resistencia a la tracción</b>	140Ksi (962Mpa)
<b>Longitud</b>	19mm
<b>Color</b>	Blanco
<b>Resistencia ácido / alcalino</b>	Excelente
<b>Absorción</b>	4-5%
<b>Cumplimiento</b>	A.S.T.M. C-1116

**Fuente:** Autores de la Investigación





**Figura 1.4.** Fibra de nylon. (Autores de la Investigación)

- **Fibras de carbón**

Las fibras de carbón se desarrollaron en la industria aeroespacial, por poseer altas resistencias a la tracción, rigidez y módulo de elasticidad. Este tipo de fibras es costoso y presenta un desarrollo comercial limitado. Las hebras de las fibras de carbón deben contener unos 12000 filamentos individuales, dichos filamentos son largos y delgados, con un diámetro aproximado de 0.005-0.010mm.

- **Fibras de polietileno**

El polietileno es un polímero de plástico adquirido y usados por muchos, es un polímero semicristalino que aumenta la resistencia del elemento ya que se alarga antes de romperse.

Las propiedades de este tipo de fibras es que es un elemento flexible y deformable cuando se encuentra a temperaturas altas, es ligero y posee una resistencia química.

- **Fibras de poliéster**

Este tipo de fibras son pertenecientes a los grupos de poliéster termoplásticos, son encontradas en el mercado en forma de monofilamentos.

Son susceptibles a la temperatura y sus propiedades pueden ser alteradas a consecuencias de temperaturas anormales. En ocasiones las fibras de poliéster suelen ser algo hidrófobas. Su utilización se debe al control de agrietamiento en la fase de contracción plástica del hormigón ya que se usan bajos contenidos.

- **Fibras de polipropileno**

Las fibras de polipropileno son aquellas que resaltan dentro del grupo de las fibras sintéticas, son hidrófilas, ligeras e inertes. Es utilizada con un volumen mínimo del 0.01% del volumen del concreto. Estas fibras se caracterizan por aumentar las propiedades del hormigón específicamente la resistencia a la compresión.

Las fibras de polipropileno presentan propiedades tales como.

- Poseen una superficie impermeable, es decir no le quita agua de mezclado.
- No tiene reacción química
- Son livianas
- Pueden alcanzar medianas resistencias a la tensión.

**Tabla 1.6.** Características físicas de la fibra de polipropileno.

<b>Materiales</b>	Polipropileno, homopolímero virgen
<b>Forma</b>	Fibra fibrilada
<b>Peso específico</b>	0.91 Kg/cm <sup>3</sup>
<b>Resistencia a la tracción</b>	83-96Ksi (570-660Mpa)
<b>Longitud</b>	19mm
<b>Color</b>	Blanco o Gris
<b>Resistencia ácido / alcalino</b>	Excelente
<b>Absorción</b>	Nula
<b>Cumplimiento</b>	A.S.T.M. C-1116

Fuente: Autores de la Investigación



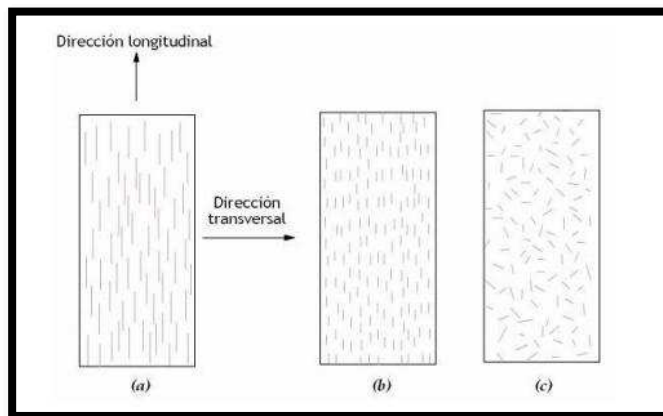
**Figura 1.5.** Fibra de polipropileno. (Autores de la Investigación)

### **Fibras naturales**

Las fibras naturales son utilizadas como un refuerzo del hormigón. Este tipo de fibras se han utilizado en tiempos remotos como reforzamiento a ladrillos, a raves de paja o crin de caballo. Actualmente las fibras más comunes son: fibra de coco, caña de azúcar, yute, madera bambú y fibras vegetales.

Al ser mezcladas las fibras con el hormigón se abren y se separan, de esta manera son distribuidos uniformemente en toda la matriz del concreto. Para la resistencia del hormigón influyen la orientación de las fibras, distribución y su concentración. Se pueden presentar dos tipos de orientación de la fibra en el hormigón:

- Alineación paralela de los ejes longitudinales de las fibras, estas son denominadas fibras continuas.
- Alineación al azar, estas son denominadas fibras discontinuas



**Figura 1.6.** Alineación de las fibras en el concreto. (Autores de la Investigación)

### 1.2.1.9. Influencias de las fibras como agregado en el hormigón

El desempeño que puede tener la fibra en el hormigón está relacionado con:

- Cantidad de fibra
- Módulo de elasticidad de la fibra
- Adherencia entre la fibra y la matriz
- Resistencia de la fibra
- Deformidad de la fibra
- Compatibilidad entre la fibra y la matriz
- Longitud de la fibra

Si se cumplen con estos requisitos se obtendrá hormigones resistentes que ofrezcan durabilidad a largo plazo y un control secundario a las temperaturas, además no son corrosivas ni magnéticas.

- **Cantidad de fibras**

El uso adecuado de fibras en el hormigón ofrece una mayor resistencia al concreto, siempre y cuando se conozca el peso y el volumen correcto para una determinada dosificación.

- **Módulo de elasticidad de la fibra**

En teoría si la fibra posee un mayor módulo de elasticidad, mayor será la resistencia a las primeras fisuras, pero en la práctica, cuanto mayor sea el

módulo de elasticidad es posible de que exista un arrancamiento o desprendimiento de fibras.

- **Adherencia entre la fibra y matriz**

“Las características de resistencia, deformación y patrones de rotura de una gran variedad de compuestos cimentados reforzados con fibras dependen fundamentalmente de la adherencia fibra-matriz” (Barros Fierro & Ramirez Cueva, 2012).

- **Resistencia de la fibra**

Al aumentar la resistencia de la fibra, aumenta la ductilidad del hormigón con el agregado. En la práctica, gracias a las propiedades de adherencia fibra-hormigón y dosis de fibras se obtiene la resistencia de la fibra.

- **Deformidad de la fibra**

“La ductilidad se puede aumentar con la utilización de fibras que presenten alta deformación a la rotura. Esto se debe al hecho de que compuestos con fibras de alto grado de deformidad consuman energía bajo la forma de estiramiento de la fibra” (Barros Fierro & Ramirez Cueva, 2012).

- **Compatibilidad entre la fibra y la matriz**

Las propiedades físicas y químicas que existan en el hormigón deben estar íntimamente relacionadas, el agua que se usa en la mezcla debe ser correctamente colocada para que de esta manera la fibra no absorba demasiada ni tampoco mucha agua y no disminuya la trabajabilidad del hormigón.

- **Longitud de la fibra**

Para que las fibras no sean arrancadas se debe seleccionar el tamaño adecuado de la fibra, ya que mientras más pequeña sea ésta mayor es la probabilidad de que sea arrancada. La longitud y el diámetro de la fibras que se encuentran comúnmente en el mercado están comprendida entre 0.04” (1mm) y 3” (76mm). La longitud mínima de fibra utilizada en el hormigón es de  $\frac{3}{4}$ ”

(19mm), la longitud de la fibra va a depender mucho del tamaño del agregado a usar, tal y como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 1.7.** Longitud de la fibra

TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO		LONGITUD DE LA FIBRA	
(pulg)	(mm)	(pulg)	(mm)
1/4	6	3/4	19
1/2	13	1-1/2	38
3/4	19	2-1/4	54
1	+25	2-1/2	60

*Fuente:* (Conrado Diaz & Rojas Santiago, 2012)

#### 1.2.1.10. Normativas de concreto reforzado con fibras

La fibra es considerada un material moderno, y su uso remoto a la utilización como reforzamiento de materiales frágiles, tales como: ladrillos realizados de arcilla cocidos al sol, la paja; molduras de yeso, el pelo de caballo, prefabricados de cemento, el abesto (hoy en día prohibido). (ACI544.1R, 1996).

La utilización del hormigón reforzado con fibra (CRF) se ha realizado desde las pequeñas experimentaciones hasta los hoy reciente usos de rutinas en fábricas y en campo, que están incluidas las colocaciones de millones de volúmenes cada año alrededor de todo el planeta Tierra (ACI544.2R, 1989). Recientes investigaciones han abierto un abanico de posibilidades para la utilización de diversos materiales en el concreto reforzado con fibras, entre estas fibras tenemos: fibras de polipropileno, microesferas de poliestireno, fibra de vidrio y polímeros, los cuales pueden ser incorporadas al concreto en la planta de dosificación o sino en la revolvedora cuando este haya sido puesta en obra, luego de que se obtiene el revenimiento.

Podemos observar en la Norma ASTM 1116, que se refiere acerca de la terminología para el Cemento y el Concreto, la cual define las fibras como: "Filamentos finos y elongados en forma de haz, malla o trenza, de algún

material natural o manufacturado que pueda ser distribuido a través de una mezcla de concreto fresco” (Davila Mercado, 2010). Mientras que en el ACI 544 se considera a las fibras utilizadas para el concreto a los filamentos discontinuos de las fibras sintéticas, acero, las naturales y a las de vidrios (ACI544.2R, 1989). En el concreto reforzado con fibra se puede observar que las propiedades mecánicas tienen un carácter isótropo, que no dependen de la concentración y orientación del refuerzo en una determinada zona, a diferencia del concreto convencional, que si tiene un carácter isótropo. El papel de la fibra en el hormigón es la de reducir esas pequeñas grietas que suelen aparecer en la matriz del concreto, aumentando así la ductilidad del material. Entre las principales ventajas que ofrecen las fibras en el hormigón son:

- Resistencia al impacto
- Resistencia a esfuerzos térmicos
- Resistencia al desgaste y a astillamiento
- Absorción de energía

Dentro de las propiedades físicas del CRF se destacan la trabajabilidad del concreto, la cual menciona el ACI 116 (ACI116, 1990), “Es aquella propiedad del concreto recién mezclado que determina la facilidad y homogeneidad con que puede ser mezclado, transportado, colocado, compactado y acabado” (Davila Mercado, 2010).

El ACI 544, menciona que se debe tomar en cuenta los siguientes puntos:

- El ingeniero encargado del proyecto debe revisar y aprobar el equipo y la manera en que se van a ser agregadas las fibras a las mezclas.
- Se deben realizar una prueba estricta, por lo menos ocho días antes de la utilización de este material.
- No se debe permitir que las fibras se agrupen o se escurran hacia debajo de las aspas de un tambor parcialmente lleno.
- No se debe usar una maquina con las aspas de mezclados en malas condiciones ya sean desgastadas o con otro cualquier daño.
- No superar el tiempo máximo de mezclado, ya que se puede presentar bolas de fibras mojadas.

## **Colocación**

El CRF se puede colocar utilizando equipos convencionales de colocación, como: cubos de concreto, bandas transportadoras y bombas. Los equipos en mención deben estar limpios y en buenas condiciones, para de esta manera garantizar que el CRF fluya fácilmente. El CRF es fácil de colocar y consolidar, aunque su aspecto parezca rígido. Para una mejor trabajabilidad se recomienda, ajustar la granulometría del agregado y verter un reductor de agua de mediano o alto rango a la mezcla en vez de agua.

## **Acabado**

Para la realización del acabado del hormigón con la incorporación de fibras se debe usar vibración externa del molde o cimbra de una regla vibratoria, enrasadora guiada por láser o eléctrica portátil, para poder así nivelar el concreto. Este paso cumple la función de que la pasta emigre a la superficie y cubrir las fibras localizadas en la superficie de la losa, encapsulándose al hormigón y reduciendo la exposición de las fibras. La presencia de las fibras en el concreto suelen retardar o loquear la aparición de agua durante el sangrado en la superficie, por ello es necesario verificar que el agua de sangrado en su totalidad se evapore antes de que comience el acabado del concreto. Y que el hormigón reforzado con fibras no presenta casi nada de diferencias con el concreto simple, se trata solamente de esperar un tiempo prudente más que el que se espera de costumbre.

Las fibras sintéticas son elementos muy compatibles con acabados o tratamientos que se le realicen al concreto. Las fibras que sobresalen en la superficie del hormigón son inmediatamente controladas por medio de escobillones con un rastrillo texturizador o un escobillón para que no se noten en la superficie del mismo. Éste proceso se lo debe realizar en una sola dirección ya que si se lo realizara en diferentes direcciones ocurriría un desacomodamiento de las fibras.

Las fibras usadas como agregado en el hormigón es un tema que ha sido estudiado y desarrollado por el ACI (American Concrete Institute), el US Army Engineering, ASTM, entre otros. El ACI ha propuesto una norma, la cual es ACI



544.2R-89 estipulada en 1999, y se dice que: “El uso del hormigón reforzado con fibras (FRC-Fiber Reinforced Concrete) ha pasado de las pequeñas escalas de aplicación experimental a los trabajos de rutina y aplicaciones de campo”

## CAPÍTULO II

### 2. ESTUDIO TEÓRICO-EXPERIMENTAL DEL HORMIGÓN UTILIZANDO COMO AGREGADO LA FIBRA DE NYLON Y POLIPROPILENO

#### 2.1. Determinación y selección de elementos.

Como se sabe el hormigón es una mezcla homogénea de varios elementos, en donde se debe determinar específicamente los materiales que éste constituye, tales como: el cemento, agregados, agua, fibras y otros.

- **El cemento**

En nuestro país existen varias empresas que fabrican cemento, entre ellas se destaca Holcim Ecuador, Cemento Chimborazo, Lafarge Cementos, entre otros. Holcim Ecuador por su parte elabora el cemento Holcim Rocafuerte y la empresa Lafarge Cementos elabora el cemento Selva Alegre. El cemento que se utilizó para esta investigación fue el cemento portland Holcim Rocafuerte y se lo adquirió en las oficinas de Ferruzam ubicado en la calle 12-11 Avenida 7.

- **Los agregados**

Los agregados tanto finos como gruesos se los adquirió en las instalaciones de Ferruzam ubicado en la calle 12-11 Avenida 7, estos materiales son provenientes de la Cantera de Picoaza. El tamaño del agregado grueso es de  $\frac{3}{4}$ " y el tipo de agregado fino es de arena de río.

- **El agua**

Cabe recalcar que las muestra de hormigón van a ser realizados dentro del "Laboratorio de Hormigón y Suelos Ing. Bolívar Ortiz Logroño" de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí por lo que el agua se la ha adquirido de este lugar.

- **Las fibras**

Con respecto al tema propuesto de comparación de resistencia entre la fibra de nylon y la de polipropileno se investigó en la ciudad de Manta donde se comercializaba dicho producto; encontrando así las instalaciones Navia ubicada en la avenida 4 de noviembre diagonal a Hielo Polar.

## 2.2. Fibras a utilizar

Para este trabajo se ha determinado realizar ensayos a compresión y tracción los mismos que estarán sujetos a cilindros y vigas de hormigón respectivamente, con la novedad de utilizar dos tipos de fibras como son la fibra de polipropileno y fibra de nylon.

**Tabla 2.8.** Nomenclatura de muestras.

<b>MUESTRAS</b>		<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>CILINDROS</b>	CS	Hormigón sin fibra
	CN	Hormigón + fibra de nylon
	CP	Hormigón + fibra de polipropileno
<b>VIGAS</b>	VS	Hormigón sin fibra
	VN	Hormigón + fibra de nylon
	VP	Hormigón + fibra de polipropileno

**Fuente:** Autores de la Investigación

Las dimensiones de los cilindros a utilizar son de: 15cm de diámetro x 30cm de altura; las dimensiones de la viga a utilizar son 10x10x51cm respectivamente.

## 2.3. Métodos propuestos para diseño del hormigón con y sin fibras

### 2.3.1. Métodos de diseño

Para obtener un excelente diseño de hormigón es necesario contar con una dosificación adecuada, ya que éste determina las características y presentaciones del concreto.

El diseño de mezclas consiste en incorporar al hormigón las cantidades necesarias que este requiere, con el objetivo de obtener resultados favorables.

Existen varios métodos de dosificación, en ésta investigación se ha seleccionado el método del ACI (Instituto Americano del Hormigón)

### 2.3.1.1. Método del ACI (Instituto Americano del Hormigón)

El método ACI plantea una forma para hallar la cantidad necesaria de los componentes para la elaboración del concreto, en la cual hace referencia a la relación agua/cemento, brindándole al hormigón resistencia y durabilidad necesaria.

El uso de tablas es indispensable para la elaboración de ensayos en el laboratorio, con el fin de ofrecer una guía para los diseñadores de hormigón y encontrar a dosificación más adecuada en relación a la resistencia requerida.

A continuación se describirán las tablas empleadas para las dosificaciones.

**Tabla 2.9.** Asentamientos recomendados para diferentes tipos de construcción

TIPO DE CONSTRUCCIÓN	ASENTAMIENTO (MM)	
	MÁXIMO	MÍNIMO
Fundaciones, paredes, zapatas reforzadas y muros	80	20
Zapatas simples, caissons y muros de subestructura	80	20
Losas, vigas y paredes reforzadas	100	20
Columnas de edificios	100	20
Pavimentos	80	20
Construcción en masa	50	20

Fuente: (Camaniero, 2006)

Esta tabla indica los asentamientos máximos y mínimos realizados en el cono de Abrams, dichos asentamientos pueden ser incrementados de acuerdo al

aditivo empleado, siempre y cuando la relación agua-cemento se mantenga vigente.

El hormigón debe ser compactado y consolidado mediante vibradores de alta frecuencia.

Cabe recalcar que es necesario utilizar la mezcla que tenga menor asentamiento o sea la de mayor consistencia; ya que si se tiene una mezcla con poca cantidad de humedad es muy complicada de manejar, y si la mezcla presenta mayor humedad pueden producirse segregaciones, poca resistencia y falta de homogeneidad.

**Tabla 2.10.** Tamaños máximos de grava recomendados para diferentes tipos de construcción.

Dimensión mínima de la sección (A) mm	Tamaño Máximo del Agregado (mm)			
	Paredes vigas y columnas	Muro sin refuerzo	Losas fuertemente armadas	Losas ligeramente armadas
60 130	13 a 19	20	20 a 25	19 a 36
150 a 280	19 a 38	38	38	38 a 76
300 a 740	38 76	76	76	76
750 o más	38 a 76	150	150	76 a 150

Fuente: (Camaniero, 2006)

Esta tabla recomienda ciertos tamaños de agregado grueso, para los diferentes tipos de elementos constructivos.

Para resistencias bajas el tamaño del agregado es más grande, teniendo una superficie menor que puede ser cubierta por la pasta agua-cemento.

Para resistencias medias, es recomendable usar agregados que tengan como máximo 25 mm de tamaño y para resistencias altas se utilizan agregados menores a 25mm.

**Tabla 2.11.** Cantidades aproximadas de agua de mezclado que se requieren para diferentes asentamientos y tamaños de grava.

Asentamiento (mm)	Agua: litros por m <sup>3</sup> de hormigón para los tamaños máximos de grava indicados (mm)							
	10	12.5	20	25	38	50	70	150
<b>Hormigón sin aire Incluido</b>								
20 a 50	205	200	185	180	160	155	145	125
80 a 100	225	215	200	195	175	170	160	140
150 a 180	240	230	210	205	185	180	170	...
Cantidad aproximada de aire atrapado, (%)	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
<b>Hormigón con aire Incluido</b>								
20 a 50	180	175	165	160	145	140	135	120
80 a 100	200	190	180	175	160	155	150	135
150 a 180	215	205	190	185	170	165	160	
Contenido de aire total promedio recomendado para el nivel de exposición (%)								
Benigno	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5*	1.0*
Moderado	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5*	3.0*
Riguroso	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5*	4.0*

Fuente: (Camaniero, 2006)

Esta tabla nos indica, la cantidad de agua que debe usarse para calcular el contenido de cemento la cual está comprendida entre el asentamiento que pueda producirse y el tamaño de agregado grueso que deba usarse.

**Tabla 2.12.** Resistencia a la compresión del hormigón basada en la relación Agua/Cemento

<b>RESISTENCIA PROBABLE A LOS 28 DÍAS (MPa)</b>	<b>RELACIÓN AGUA / CEMENTO (en masa)</b>
45	0.37
42	0.40
40	0.42
35	0.47
32	0.51
30	0.52
28	0.53
25	0.56
24	0.57
21	0.58
18	0.62
15	0.70

**Fuente:** (Camaniero, 2006)

Los valores de resistencia a la compresión durante 28 días que se muestran en la tabla 2.17. hacen referencia a la relación agua/cemento.

**Tabla 2.13.** Volumen aparente seco y compactado de agregado grueso por unidad de volumen de hormigón (\*)

	<b>Volumen Aparente de la Grava Seca y Compactada para diferentes Módulos de Finura de la Arena (m<sup>3</sup>)</b>						
<b>Tamaño máximo de la grava (mm)</b>	<b>2.4</b>	<b>2.5</b>	<b>2.6</b>	<b>2.7</b>	<b>2.8</b>	<b>2.9</b>	<b>3.0</b>
10.0	0.50	0.49	0.47	0.47	0.46	0.45	0.44
12.5	0.59	0.58	0.56	0.56	0.55	0.54	0.53
20.0	0.66	0.65	0.63	0.63	0.62	0.61	0.60
25.0	0.71	0.70	0.68	0.68	0.67	0.66	0.65
38.0	0.76	0.75	0.73	0.73	0.72	0.71	0.70
50.0	0.78	0.77	0.75	0.75	0.74	0.73	0.72
70.0	0.81	0.80	0.78	0.78	0.77	0.76	0.75
150.0	0.87	0.86	0.84	0.84	0.83	0.82	0.81

**Fuente:** (Camaniero, 2006)

Estos valores se los obtiene mediante relaciones empíricas para elaboración de hormigones con una excelente trabajabilidad para construcciones comunes; ésta tabla nos indica el volumen aparente que tiene el agregado grueso, teniendo como datos conocidos el tamaño máximo de la grava y el módulo de finura de la arena. Hay que tener en cuenta que la cantidad de grava está en función del tamaño de las partículas de arena (módulo de finura, es decir mientras más gruesa es la arena menor cantidad de grava se utiliza).



**Tabla 2.14.** Peso del concreto con y sin aire.

Tamaño Máximo del Agregado (pulgadas)	Masa Unitaria (kg/m <sup>3</sup> )	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
3/8	2304	2214
1/2	2334	2256
3/4	2376	2304
1	2406	2340
1 1/1	2442	2376
2	2472	2400

Fuente: (Camaniero, 2006)

Esta tabla está basada en el tamaño máximo del agregado grueso a usar, donde muestra el peso del concreto ya sea este con aire o sin aire incluido.

#### **2.4. Ensayos realizados a los agregados.**

Se realizaron ensayos a los agregados finos y gruesos para determinar si cumplen o no los requisitos establecidos en las normas predeterminadas.

##### **2.4.1. Ensayos al agregado grueso.**

- Granulometría y Módulo de finura.

Tabla 2.15. Granulometría del agregado grueso.

Granulometría del agregado grueso					
Masa inicial de 7825,02 gramos					
Tamiz	Abertura (mm)	Masa del recipiente (gr)	Masa retenida + Masa del recipiente (gr)	Masa retenida (gr)	Error
2"	50,8	516,65	516,65	0,00	0,045%
1 ½"	38,1	516,65	611,41	94,76	
1"	25,4	516,65	2305,08	1788,43	
¾"	19,05	516,65	2719,10	2202,45	
½"	12,7	516,65	2295,68	1779,03	
3/8"	9,5	516,65	1033,99	517,34	
Nº 4	4,75	516,65	1028,77	512,12	
Fondo	-	516,65	1444,00	927,35	
Sumatoria				7821,48	

Fuente: Autores de la Investigación

Masa inicial = 7825,02 gramos

Masa final = 7821,48 gramos

$$\text{ERROR} = \frac{7825,02 - 7821,48}{7825,02} \times 100\% = 0,045\%$$

Se obtuvo un error de 3,54 gramos; que corresponde a un 0,045%.

Por lo tanto se debe realizar una corrección, la cual es la siguiente:

$$\text{CORRECCIÓN} = \frac{\text{ERROR EN GRAMOS}}{\# \text{ DE TAMICES}} \quad (2.1)$$

$$\text{CORRECCIÓN} = \frac{3,54}{7} = 0,51$$

Tabla 2.16. Granulometría corregida del agregado grueso.

Granulometría del agregado grueso					
Masa inicial de 7825,02 gramos					
Tamiz	Abertura (mm)	Masa retenida corregida (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
2"	50,8	0,51	0,007	0,007	99,993
1 ½"	38,1	95,27	1,226	1,233	98,767
1"	25,4	1788,94	22,860	24,093	75,907
¾"	19,05	2202,96	28,151	52,244	47,756
½"	12,7	1779,54	22,740	74,984	25,016
3/8"	9,5	517,85	6,616	81,6	18,40
Nº 4	4,75	512,63	6,549	88,149	11,851
Nº 8	2,36	-	-	-	-
Nº 16	1,18	-	-	-	-
Nº 30	0,6	-	-	-	-
Nº 50	0,3	-	-	-	-
Nº 100	0,15	-	-	-	-
Nº 200	0,075	-	-	-	-
Fondo		927,35	11,851	100	0
	Sumatoria	7825,02			

Fuente: Autores de la Investigación

Cálculo del módulo de finura:

$$MF = \frac{0,007+1,233+52,244+81,6+88,149+100+100+100+100+100}{100} \quad (2.2)$$

$$MF = 7,23$$

Según ASTM C 33 para agregado grueso se determinan 2 tamaños máximos:

- **Tamaño máximo (TM):** Se define como tamaño máximo a la abertura del menor tamiz por la que pasa el 100% de toda la muestra.

- **Tamaño máximo nominal (TMN):** Se define como tamaño máximo nominal al siguiente tamiz de abertura mayor cuyo porcentaje retenido sea mayor al 15%.

Entonces:

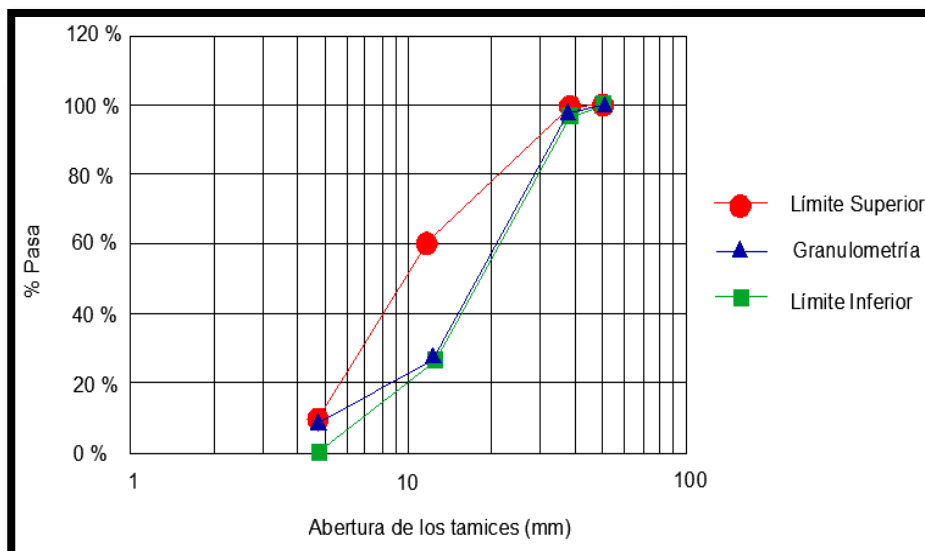
Tamaño máximo: 2"

Tamaño máximo nominal: 1 ½"

**Tabla 2.17.** Límites superiores e inferiores.

Tamiz	Abertura (mm)	Límite Superior %	Límite Inferior %
2"	50,8	100	100
1 ½"	38,1	100	95
1"	25,4	-	-
¾"	19,05	-	-
½"	12,7	60	25
3/8"	9,5	-	-
Nº 4	4,75	10	0

Fuente: Autores de la Investigación



**Figura 2.7.** Granulometría del agregado grueso. (Autores de la Investigación)

- Densidad aparente compactada.

### **Primer ensayo**

DATOS:

Masa del molde: 7283 gr

Altura del molde: 16,5 cm

Diámetro del molde: 15,5 cm

Masa del molde + muestra: 12078 gr

$$\text{Muestra} = (\text{masa del molde} + \text{muestra}) - (\text{masa del molde}) \quad (2.3)$$

$$\text{Muestra} = 12078 \text{ gr} - 7283 \text{ gr}$$

$$\text{Muestra} = 4795 \text{ gr}$$

$$\text{Volumen del molde} = \frac{\pi d^2 h}{4} \quad (2.4)$$

$$\text{Volumen del molde} = \frac{\pi \times 15,5^2 \times 16,5}{4}$$

$$\text{Volumen del molde} = 3113,42 \text{ cm}^3$$

$$\text{Densidad aparente compactada} = \frac{\text{Muestra}}{\text{Volumen}} \quad (2.5)$$

$$\text{Densidad aparente compactada} = \frac{4795 \text{ gr}}{3113,42 \text{ cm}^3}$$

$$\text{Densidad aparente compactada} = \underline{\underline{1,5401 \text{ gr/cm}^3}}$$

### **Segundo ensayo**

DATOS:

Masa del molde: 7283 gr

Altura del molde: 16,5 cm

Diámetro del molde: 15,5 cm

Masa del molde + muestra: 12065 gr

$$\text{Muestra} = (\text{masa del molde} + \text{muestra}) - (\text{masa del molde})$$

$$\text{Muestra} = 12065 \text{ gr} - 7283 \text{ gr}$$

$$\text{Muestra} = 4782 \text{ gr}$$

$$\text{Volumen del molde} = \frac{\pi d^2 h}{4} \quad (2.4)$$

$$\text{Volumen del molde} = \frac{\pi \times 15,5^2 \times 16,5}{4}$$

$$\text{Volumen del molde} = 3113,42 \text{ cm}^3$$

$$\text{Densidad aparente compactada} = \frac{\text{Muestra}}{\text{Volumen}} \quad (2.5)$$

$$\text{Densidad aparente compactada} = \frac{4782 \text{ gr}}{3113,42 \text{ cm}^3}$$

$$\text{Densidad aparente compactada} = \underline{1,5359 \text{ gr/cm}^3}$$

### Tercer ensayo

DATOS:

Masa del molde: 7283 gr

Altura del molde: 16,5 cm

Diámetro del molde: 15,5 cm

Masa del molde + muestra: 12080 gr

Muestra = (masa del molde + muestra) – (masa del molde)

Muestra = 12080 gr – 7283 gr

Muestra = 4797 gr

$$\text{Volumen del molde} = \frac{\pi d^2 h}{4} \quad (2.4)$$

$$\text{Volumen del molde} = \frac{\pi \times 15,5^2 \times 16,5}{4}$$

$$\text{Volumen del molde} = 3113,42 \text{ cm}^3$$

$$\text{Densidad aparente compactada} = \frac{\text{Muestra}}{\text{Volumen}} \quad (2.5)$$

$$\text{Densidad aparente compactada} = \frac{4797 \text{ gr}}{3113,42 \text{ cm}^3}$$

$$\text{Densidad aparente compactada} = \underline{1,5407 \text{ gr/cm}^3}$$

Realizando un promedio se obtiene:

$$D_{app} = \frac{1,5401 \text{ gr/cm}^3 + 1,5359 \text{ gr/cm}^3 + 1,5407 \text{ gr/cm}^3}{3}$$
$$D_{app} = 1,5389 \text{ gr/cm}^3 = 1,54 \text{ gr/cm}^3$$

- Porcentaje de Humedad.

**Tabla 2.18.** Porcentaje de humedad del agregado grueso.

	<b>PESOS</b>	<b>UNIDAD</b>
<b>Peso de la tara</b>	157,2	gr.
<b>Peso de la piedra húmeda + peso de la tara</b>	508,2	gr.
<b>Peso de la piedra húmeda</b>	351	gr.
<b>Peso de la piedra seca + peso de la tara</b>	506,1	gr.
<b>Peso de la piedra seca</b>	348,9	gr.

Fuente: Autores de la Investigación

$$\% \text{ de Humedad} = \frac{\text{Peso de la piedra humedad} - \text{Peso de la piedra seca}}{\text{Peso de la piedra seca}} \times 10 \quad (2.6)$$

$$\% \text{ Humedad} = \frac{351-348,9}{348,9} \times 100$$

$$\% \text{ Humedad} = 0,60\%$$

- Porcentaje de Absorción.

### MUESTRA # 1

**Tabla 2.19.** Porcentaje de absorción de la muestra #1 del agregado grueso

	<b>PESOS</b>	<b>UNIDAD</b>
<b>Masa del recipiente</b>	190,2	gr.
<b>Masa de agua</b>	75,56	gr.
<b>Masa de piedra en SSS + masa del recipiente</b>	2690,3	gr.
<b>Masa de la piedra en SSS</b>	2500,1	gr.
<b>Masa de la piedra seca + masa del recipiente</b>	2613,5	gr.
<b>Masa de la piedra seca</b>	2423,3	gr.

Fuente: Autores de la Investigación

$$\% \text{ Absorción} = \frac{\text{Masa de la piedra en SSS} - \text{Masa de la piedra seca}}{\text{Masa de la piedra seca}} \times 100 \quad (2.7)$$

$$\% \text{ Absorción} = \frac{2500,1 - 2423,3}{2423,3} \times 100$$

$$\% \text{ Absorción} = 3,17\%$$

### MUESTRA # 2

**Tabla 2.20.** Porcentaje de absorción de la muestra #2 del agregado grueso

	<b>PESOS</b>	<b>UNIDAD</b>
<b>Masa del recipiente</b>	190,2	gr.
<b>Masa de agua</b>	75,56	gr.
<b>Masa de piedra en SSS + masa del recipiente</b>	2690,4	gr.
<b>Masa de la piedra en SSS</b>	2500,2	gr.
<b>Masa de la piedra seca + masa del recipiente</b>	2613,6	gr.
<b>Masa de la piedra seca</b>	2423,4	gr.

Fuente: Autores de la Investigación



$$\% \text{ Absorción} = \frac{\text{Masa de la piedra en SSS}-\text{Masa de la piedra seca}}{\text{Masa de la piedra seca}} \times 100 \quad (2.7)$$

$$\% \text{ Absorción} = \frac{2500,2-2423,4}{2423,4} \times 100$$

$$\% \text{ Absorción} = 3,16\%$$

### MUESTRA # 3

**Tabla 2.21.** Porcentaje de absorción de la muestra #3 del agregado grueso

	<b>PESOS</b>	<b>UNIDAD</b>
<b>Masa del recipiente</b>	190,2	gr.
<b>Masa de agua</b>	75,56	gr.
<b>Masa de piedra en SSS + masa del recipiente</b>	2690,2	gr.
<b>Masa de la piedra en SSS</b>	2500	gr.
<b>Masa de la piedra seca + masa del recipiente</b>	2613,4	gr.
<b>Masa de la piedra seca</b>	2423,2	gr.

Fuente: Autores de la Investigación

$$\% \text{ Absorción} = \frac{\text{Masa de la piedra en SSS}-\text{Masa de la piedra seca}}{\text{Masa de la piedra seca}} \times 100 \quad (2.7)$$

$$\% \text{ Absorción} = \frac{2500-2423,2}{2423,2} \times 100$$

$$\% \text{ Absorción}=3,17\%$$

**Tabla 2.22.** Cálculo del valor promedio de la absorción del agregado grueso.

<b>MUESTRAS</b>	<b>% ABSORCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>
<b>Muestra #1</b>	3,17	%
<b>Muestra #2</b>	3,16	%
<b>Muestra #3</b>	3,17	%
<b>Valor promedio</b>	<b>3,17</b>	%

Fuente: Autores de la Investigación

## 2.4.2. Ensayos al agregado fino.

- Granulometría y Módulo de finura.

Tabla 2.23. Granulometría del agregado fino.

Granulometría del agregado fino					
Masa inicial de 993,97 gramos					
Tamiz	Abertura (mm)	Masa del recipiente (gr)	Masa retenida + Masa del recipiente (gr)	Masa retenida (gr)	Error
3/8"	9,5	312,20	326,19	13,99	0,047%
Nº 4	4,75	312,20	341,70	29,50	
Nº 8	2,36	312,20	452,09	139,89	
Nº 16	1,18	312,20	531,79	219,59	
Nº 30	0,6	312,20	426,30	114,10	
Nº 50	0,3	312,20	504,50	192,30	
Nº 100	0,15	312,20	561,99	249,79	
Nº 200	0,075	312,20	341,59	29,39	
Fondo		312,20	317,15	4,95	
			Sumatoria	993,50	

Fuente: Autores de la Investigación

Masa inicial = 993,97 gramos

Masa final = 993,50 gramos

$$\text{ERROR} = \frac{993,97 - 993,50}{993,97} \times 100\% = 0,047\%$$

Se obtuvo un error de 0,47 gramos; que corresponde a un 0,047%

Por lo tanto se debe realizar una corrección, la cual es la siguiente:

$$\text{CORRECCIÓN} = \frac{\text{ERROR EN GRAMOS}}{\# \text{ DE TAMICES}} \quad (2.1)$$

$$\text{CORRECCIÓN} = \frac{0,47}{8} = 0,059$$

Tabla 2.24. Granulometría corregida del agregado fino.

Granulometría del agregado fino					
Masa inicial de 993,97 gramos					
Tamiz	Abertura (mm)	Masa retenida corregida (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasa
3/8"	9,5	14,049	1,41	1,41	98,59
Nº 4	4,75	29,559	2,97	4,38	95,62
Nº 8	2,36	139,949	14,08	18,46	81,54
Nº 16	1,18	219,649	22,09	40,55	59,45
Nº 30	0,6	114,159	11,49	52,04	47,96
Nº 50	0,3	192,359	19,35	71,39	28,61
Nº 100	0,15	249,849	25,13	96,52	3,48
Nº 200	0,075	29,449	2,96	99,48	0,52
Fondo	-	4,95	0,52	100	0,00
	sumatoria	993,97			

Fuente: Autores de la Investigación

Cálculo del módulo de finura:

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Retenido acumulado desde el tamiz N}^\circ 4 \text{ al N}^\circ 100}{100} \quad (2.2)$$

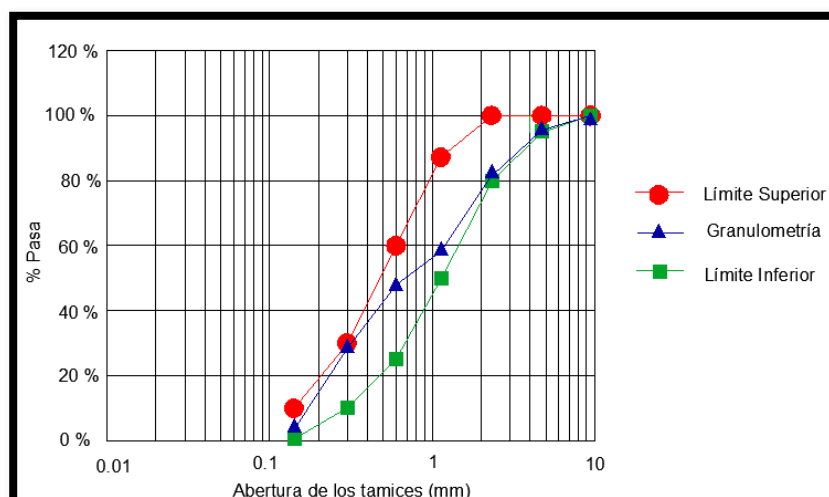
$$MF = \frac{4,38+18,46+40,55+52,04+71,39+96,52}{100}$$

MF=2,80

**Tabla 2.25.** Límites superiores e inferiores del agregado fino.

Tamiz	Abertura (mm)	Límite Superior %	Límite Inferior %
3/8"	9,5	100	100
Nº 4	4,75	100	95
Nº 8	2,36	100	80
Nº 16	1,18	85	50
Nº 30	0,6	60	25
Nº 50	0,3	30	10
Nº 100	0,15	10	2

Fuente: Autores de la Investigación



**Figura 2.8.** Granulometría del agregado fino. (Autores de la Investigación)

- Densidad aparente compactada.

### Primer ensayo

DATOS:

Masa del molde: 7283 gr

Altura del molde: 16,5 cm

Diámetro del molde: 15,5 cm

Masa del molde + muestra: 12923 gr

$$\text{Muestra} = (\text{masa del molde} + \text{muestra}) - (\text{masa del molde}) \quad (2.3)$$

$$\text{Muestra} = 12923 \text{ gr} - 7283 \text{ gr}$$

$$\text{Muestra} = 5640 \text{ gr}$$

$$\text{Volumen del molde} = \frac{\pi d^2 h}{4} \quad (2.4)$$

$$\text{Volumen del molde} = \frac{\pi \times 15,5^2 \times 16,5}{4}$$

$$\text{Volumen del molde} = 3113,42 \text{ cm}^3$$

$$\text{Densidad aparente compactada} = \frac{\text{Muestra}}{\text{Volumen}} \quad (2.5)$$

$$\text{Densidad aparente compactada} = \frac{5640 \text{ gr}}{3113,42 \text{ cm}^3}$$

$$\text{Densidad aparente compactada} = \underline{1,8115 \text{ gr/cm}^3}$$

### Segundo ensayo

DATOS:

Masa del molde: 7283 gr

Altura del molde: 16,5 cm

Diámetro del molde: 15,5 cm

Masa del molde + muestra: 12904 gr

$$\text{Muestra} = (\text{masa del molde} + \text{muestra}) - (\text{masa del molde}) \quad (2.3)$$

$$\text{Muestra} = 12904 \text{ gr} - 7283 \text{ gr}$$

$$\text{Muestra} = 5621 \text{ gr}$$

$$\text{Volumen del molde} = \frac{\pi d^2 h}{4} \quad (2.4)$$

$$\text{Volumen del molde} = \frac{\pi \times 15,5^2 \times 16,5}{4}$$

$$\text{Volumen del molde} = 3113,42 \text{ cm}^3$$

$$\text{Densidad aparente compactada} = \frac{\text{Muestra}}{\text{Volumen}} \quad (2.5)$$

$$\text{Densidad aparente compactada} = \frac{5621 \text{ gr}}{3113,42 \text{ cm}^3}$$

$$\text{Densidad aparente compactada} = \underline{1,8054 \text{ gr/cm}^3}$$

### Tercer ensayo

DATOS:

Masa del molde: 7283 gr

Altura del molde: 16,5 cm

Diámetro del molde: 15,5 cm

Masa del molde + muestra: 12949 gr

$$\text{Muestra} = (\text{masa del molde} + \text{muestra}) - (\text{masa del molde}) \quad (2.3)$$

$$\text{Muestra} = 12949 \text{ gr} - 7283 \text{ gr}$$

$$\text{Muestra} = 5666 \text{ gr}$$

$$\text{Volumen del molde} = \frac{\pi d^2 h}{4} \quad (2.4)$$

$$\text{Volumen del molde} = \frac{\pi \times 15,5^2 \times 16,5}{4}$$

$$\text{Volumen del molde} = 3113,42 \text{ cm}^3$$

$$\text{Densidad aparente compactada} = \frac{\text{Muestra}}{\text{Volumen}} \quad (2.5)$$

$$\text{Densidad aparente compactada} = \frac{5666 \text{ gr}}{3113,42 \text{ cm}^3}$$

$$\text{Densidad aparente compactada} = \underline{1,8199 \text{ gr/cm}^3}$$

Realizando un promedio se obtiene:

$$D_{app} = \frac{1,8115 \text{ gr/cm}^3 + 1,8054 \text{ gr/cm}^3 + 1,8199 \text{ gr/cm}^3}{3}$$

$$\mathbf{D_{app} = 1,8122 \text{ gr/cm}^3 = 1,81 \text{ gr/cm}^3}$$

- Porcentaje de Humedad.

Tabla 2.26. Porcentaje de humedad del agregado fino.

	<b>PESOS</b>	<b>UNIDAD</b>
<b>Peso de la tara</b>	15,20	gr.
<b>Peso de la arena húmeda + peso de la tara</b>	82,6	gr.
<b>Peso de la arena húmeda</b>	67,4	gr.
<b>Peso de la arena seca + peso de la tara</b>	82,18	gr.
<b>Peso de la arena seca</b>	66,98	gr.

Fuente: Autores de la Investigación

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso de la arena húmeda} - \text{Peso de la arena seca}}{\text{Peso de la arena seca}} \times 10 \quad (2.6)$$

$$\% \text{ Humedad} = \frac{67.4 - 66.98}{66,98} \times 100$$

$$\% \text{ Humedad} = 0,63\%$$

- Porcentaje de Absorción.

#### MUESTRA # 1

Tabla 2.27. Porcentaje de absorción de la muestra #1 del agregado fino.

	<b>PESOS</b>	<b>UNIDAD</b>
<b>Masa del recipiente</b>	132,1	gr.
<b>Masa de agua</b>	15,98	gr.
<b>Masa de arena en SSS + masa del recipiente</b>	641,2	gr.
<b>Masa de la arena en SSS</b>	509,1	gr.
<b>Masa de la arena seca + masa del recipiente</b>	625,3	gr.
<b>Masa de la arena seca</b>	493,2	gr.

Fuente: Autores de la Investigación

$$\% \text{ Absorción} = \frac{\text{Masa de la arena en SSS} - \text{Masa de la arena seca}}{\text{Masa de la arena seca}} \times 100 \quad (2.7)$$

$$\% \text{ Absorción} = \frac{509,1-493,2}{493,2} \times 100$$

$$\% \text{ Absorción} = 3,22\%$$

### MUESTRA # 2

Tabla 2.28. Porcentaje de absorción de la muestra #2 del agregado fino.

	PESOS	UNIDAD
Masa del recipiente	132,1	gr.
Masa de agua	15,98	gr.
Masa de arena en SSS + masa del recipiente	641,3	gr.
Masa de la arena en SSS	509,2	gr.
Masa de la arena seca + masa del recipiente	625,5	gr.
Masa de la arena seca	493,4	gr.

Fuente: Autores de la Investigación

$$\% \text{ Absorción} = \frac{\text{Masa de la arena en SSS} - \text{Masa de la arena seca}}{\text{Masa de la arena seca}} \times 10 \quad (2.7)$$

$$\% \text{ Absorción} = \frac{509,2-493,4}{493,4} \times 100$$

$$\% \text{ Absorción} = 3,20\%$$

### MUESTRA # 3

Tabla 2.29. Porcentaje de absorción de la muestra #3 del agregado fino.

	PESOS	UNIDAD
Masa del recipiente	132,1	gr.
Masa de agua	15,98	gr.
Masa de arena en SSS + masa del recipiente	641	gr.
Masa de la arena en SSS	508,9	gr.
Masa de la arena seca + masa del recipiente	625,3	gr.
Masa de la arena seca	493,2	gr.

Fuente: Autores de la Investigación



$$\% \text{ Absorción} = \frac{\text{Masa de la arena en SSS} - \text{Masa de la arena seca}}{\text{Masa de la arena seca}} \times 100 \quad (2.7)$$

$$\% \text{ Absorción} = \frac{508,9-493,2}{493,2} \times 100$$

$$\% \text{ Absorción} = 3,18\%$$

**Tabla 2.30.** Cálculo del valor promedio de la absorción del agregado grueso.

MUESTRAS	% ABSORCIÓN	UNIDAD
Muestra #1	3,22	%
Muestra #2	3,20	%
Muestra #3	3,18	%
Valor promedio	<b>3,20</b>	%

Fuente: Autores de la Investigación

**Tabla 2.31.** Tabulación de resultados de los ensayos en los agregados.

Descripción	Agregado fino	Agregado grueso	Unidad
Módulo de finura	2,80	7,23	-
D. compactada	1,81	1,54	gr/cm <sup>3</sup>
% Humedad	0,63	0,60	%
% Absorción	3,20	3,17	%

Fuente: Autores de la Investigación

## 2.5. Diseño de mezclas de pruebas para 210 kg/cm<sup>2</sup>

Procedimiento:

### 1. Asentamientos máximos y mínimos para varios tipos de elementos estructurales.

Estos asentamientos son determinados en la tabla 2.14, dependiendo del tipo de elemento estructural a usar, en este caso se escogerá los asentamientos máximos de las vigas y columnas.

TIPO DE CONSTRUCCIÓN	ASENTAMIENTO (MM)	
	MÁXIMO	MINIMO
Fundaciones, paredes, zapatas reforzadas y muros	80	20
Zapatas simples, caissons y muros de subestructura	80	20
Losas, vigas y paredes reforzadas	100	20
Columnas de edificios	100	20
Pavimentos	80	20
Construcción en masa	50	20

**Figura 2.9.** Asentamientos a utilizarse para el diseño de hormigón. (Fuente: Autores de la Investigación)

## 2. Tamaños máximos y mínimos del agregado grueso.

Así mismo como los asentamientos, el tamaño del agregado grueso va a depender mucho del tipo de elemento estructural a construir, esto se puede ver en la tabla 2.15, se escogieron las gravas de  $\frac{3}{4}$ " es decir 19 mm de tamaño nominal.

Dimensión mínima de la sección (A) mm	Tamaño Máximo del Agregado (mm)			
	Paredes vigas y columnas	Muro sin refuerzo	Losas fuertemente armadas	Losas ligeramente armadas
60 130	13 a 19	20	20 a 25	19 a 36
150 a 280	19 a 38	38	38	38 a 76
300 a 740	38 76	76	76	76
750 o más	38 a 76	150	150	76 a 150

**Figura 2.10.** Tamaño del agregado grueso a utilizarse para el diseño del hormigón. (Autores de la Investigación)

## 3. Cantidades aproximadas de agua.

La cantidad aproximada de agua que se usa para la elaboración del hormigón estará en función del asentamiento y del tamaño del agregado grueso a usar. La tabla 2.16 indica el valor a usar.

Asentamiento (mm)	Agua: litros por m <sup>3</sup> de hormigón para los tamaños máximos de grava indicados (mm)							
	10	12.5	20	25	38	50	70	150
<b>Hormigon sin aire Incluido</b>								
20 a 50	205	200	185	180	160	155	145	125
80 a 100	225	215	200	195	175	170	160	140
150 a 180	240	230	210	205	185	180	170	...
Cantidad aproximada de aire atrapado, (%)	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
<b>Hormigon con aire Incluido</b>								
20 a 50	180	175	165	160	145	140	135	120
80 a 100	200	190	180	175	160	155	150	135
150 a 180	215	205	190	185	170	165	160	
Contenido de aire total promedio recomendado para el nivel de exposición (%)								
Benigno	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5*	1.0*
Moderado	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5*	3.0*
Riguroso	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5*	4.0*

**Figura 2.11.** Cantidad de agua a utilizarse para el diseño de hormigón. (Autores de la Investigación)

#### 4. Relación agua/cemento.

Por condiciones de diseño se escogerá un valor de  $a/c = 0,58$ , la cual indica la tabla 2.17

RESISTENCIA PROBABLE A LOS 28 DÍAS (MPa)	RELACION AGUA / CEMENTO (en masa)
45	0.37
42	0.40
40	0.42
35	0.47
32	0.51
30	0.52
28	0.53
25	0.56
24	0.57
21	0.58
18	0.62
15	0.70

**Figura 2.12.** Relación agua /cemento a utilizarse para el diseño del hormigón (Autores de la Investigación).

## 5. Determinación del Cemento (Relación a/c)

$$\frac{a}{c} = 0,58 \quad (2.8)$$

$$c = \frac{a}{0,58}$$

$$c = \frac{200}{0,58}$$

$$c = 344,83 = 350 \text{ Kg}$$

## 6. Cálculo de la masa del agregado grueso.

Para determinar la masa del agregado grueso hay que realizarle la densidad aparente compactada al ripio, donde estos fueron los resultados obtenidos:

Densidad aparente compactada (primer ensayo) = 1,5401 gr/cm<sup>3</sup>

Densidad aparente compactada (segundo ensayo) = 1,5359 gr/cm<sup>3</sup>

Densidad aparente compactada (tercer ensayo) = 1,5407 gr/cm<sup>3</sup>

Realizando un promedio se obtiene:

$$D_{app} = \frac{1,5401 \text{ gr/cm}^3 + 1,5359 \text{ gr/cm}^3 + 1,5407 \text{ gr/cm}^3}{3}$$

$$D_{app} = 1,5389 \text{ gr/cm}^3 = 1,54 \text{ gr/cm}^3$$

Una vez que se obtiene la densidad aparente compactada, a continuación se deberá calcular el módulo de finura de la arena.

Cálculo del módulo de finura:

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Retenido acumulado desde el tamiz N}^\circ 4 \text{ al N}^\circ 100}{100} \quad (2.2)$$

$$MF = \frac{4,38+18,46+40,55+52,04+71,39+96,52}{100}$$

$$MF = 2,80$$

Una vez definido el módulo de finura se determina el volumen aparente de la grava seca y compactada, en la tabla 2.18:

Volumen Aparente de la Grava Seca y Compactada para diferentes Módulos de Finura de la Arena (m <sup>3</sup> )							
Tamaño máximo de la grava (mm)	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0
10.0	0.50	0.49	0.47	0.47	0.46	0.45	0.44
12.5	0.59	0.58	0.56	0.56	0.55	0.54	0.53
20.0	0.66	0.65	0.63	0.63	0.62	0.61	0.60
25.0	0.71	0.70	0.68	0.68	0.67	0.66	0.65
38.0	0.76	0.75	0.73	0.73	0.72	0.71	0.70
50.0	0.78	0.77	0.75	0.75	0.74	0.73	0.72
70.0	0.81	0.80	0.78	0.78	0.77	0.76	0.75
150.0	0.87	0.86	0.84	0.84	0.83	0.82	0.81

Figura 2.13. Cálculo de volumen aparente (Autores de la Investigación).

Ya teniendo los datos del volumen y de la densidad del agregado grueso se calcula la masa con la siguiente expresión:

$$M_{\text{agregado grueso}} = \text{Vol}_{\text{agregado grueso}} \times \text{densidad aparente compactada} \quad (2.9)$$

$$M_{\text{agregado grueso}} = 620 \text{ cm}^3 \times 1,54 \text{ kg/cm}^3$$

$$M_{\text{agregado grueso}} = 954,8 \text{ kg}$$

## 7. Cálculo de la masa del concreto.

La masa del concreto está relacionada con el tamaño máximo del agregado grueso, y del aire o no en el concreto.

Tamaño Máximo del Agregado (pulgadas)	Masa Unitaria (kg/m <sup>3</sup> )	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
3/8	2304	2214
1/2	2334	2256
3/4	2376	2304
1	2406	2340
1 1/1	2442	2376
2	2472	2400

Figura 2.14. Determinación de la masa del concreto (Autores de la Investigación).

### 8. Cálculo de la masa del agregado fino.

$$M_{\text{concreto}} = M_{\text{agregado grueso}} + M_{\text{agua}} + M_{\text{cemento}} + M_{\text{agregado fino}} \quad (2.10)$$

$$2376 \text{ kg} = 939,4 \text{ kg} + 200 \text{ kg} + 350 \text{ kg} + M_{\text{agregado fino}}$$

$$M_{\text{agregado fino}} = 2376 \text{ kg} - 954,8 \text{ kg} - 200 \text{ kg} - 350 \text{ kg}$$

$$M_{\text{agregado fino}} = 871,20 \text{ kg}$$

### 9. Dosificación para 1 m<sup>3</sup> de Hormigón por peso.

Tabla 2.32. Datos de la dosificación para 1 m<sup>3</sup> de hormigón por peso.

	CANTIDAD	UNIDAD
Cemento	350	Kg
Agua	200	Kg
Ripio	954,8	Kg
Arena	871,2	Kg

Fuente: Autores de la Investigación

### 10. Dosificación para 1 saco de Cemento por peso.

Tabla 2.33. Datos de la dosificación para 1 saco de cemento por peso.

	CANTIDAD	UNIDAD
Cemento	50	Kg
Agua	29	Ltrs
Ripio	136,40	Kg
Arena	124,46	Kg

Fuente: Autores de la Investigación

## 11. Dosificación final por saco de cemento.

Tabla 2.34. Datos de la dosificación final del hormigón por saco de cemento.

	CANTIDAD	UNIDAD
Cemento	1	Saco
Agua	0,57 - 29	Saco- Ltrs
Ripio	2,73	Saco
Arena	2,49	Saco

Fuente: Autores de la Investigación

Se recomienda que los cilindros a usar sean estándar, es decir una relación 2:1 (2H ; 1D). Datos del cilindro:

H= 30 cm

D= 15 cm

Donde se procede a calcular el volumen de dicho cilindro:

$$V = \frac{\pi D^2 H}{4} \quad (2.11)$$
$$V = \frac{\pi \times 15^2 \times 30}{4}$$
$$V = 5301,44 \text{ cm}^3$$

Densidad del hormigón = 0,0024 kg/cm<sup>3</sup>

$M_{\text{cilindro}} = 5301,44 \times 0,0024 = 12,72 \text{ Kg} = 13 \text{ kg} + 1 = \mathbf{14 \text{ kg}}$

Las vigas tendrán una dimensión de 10 x 10 x 51 cm, dicho volumen se calcula multiplicando los 3 lados:

$$V = 10\text{cm} \times 10\text{cm} \times 51\text{cm}$$

$$V = 5100 \text{ cm}^3$$

Densidad del hormigón = 0,0024 kg/cm<sup>3</sup>

$M_{\text{viga}} = 5100 \times 0,0024 = 12,24 \text{ Kg} = 12 \text{ kg} + 1 = \mathbf{13 \text{ kg}}$

## 12. Cantidad de hormigón.

Se utilizaron 15 moldes de aproximadamente 14 kg de capacidad, y 9 vigas de aproximadamente 13 kg de capacidad. Con lo que se obtiene lo siguiente:

Cilindros:  $15 \times 14 = 210$  kg

Vigas:  $9 \times 13 = 117$  kg

Total: 327 kg

$$1x + 0,57x + 2,73x + 2,49x = 327 \text{ kg}$$

$$x = \frac{327 \text{ kg}}{(1+0,57+2,73+2,49)}$$

$$x = 48,16 \text{ kg}$$

**Tabla 2.35.** Dosificación inicial para 327 kg de hormigón

Material	Peso (kg)
Cemento	48,16
Agua	27,45
Ripio	131,48
Arena	119,92

Fuente: Autores de la Investigación

**Tabla 2.36.** Corrección por humedad y absorción en la dosificación.

Material	Peso (kg)	C.A. (%)	C.H. (%)	Dif. (%)	Correc. (kg)	Cantidades (kg)	Dosificación
Cemento	48,16	-	-	-	-	48,16	1,00
Agua	27,45	-	-	-	6,45	33,90	0,70
Ripio	131,48	3,17	0,60	2,57	3,37	131,48	2,73
Arena	119,92	3,20	0,63	2,57	3,08	119,92	2,49

Fuente: Autores de la Investigación



## **2.6. Concentración de fibras.**

Para determinar la cantidad de fibra que se va a utilizar en la investigación, se ha adoptado la información de los proveedores del uso de fibra de nylon y polipropileno en el hormigón, teniendo de esta manera:

- La dosificación recomendada para la Fibra de Nylon es de  $0,6 \text{ kg/m}^3$  de concreto, añadiendo a la concreteira como último paso, y deberá mezclarse en un lapso de 4 a 5 minutos, además presenta un porcentaje del 4% de absorción de agua.
- La dosificación recomendada para la Fibra de Polipropileno es de  $0,9 \text{ kg/m}^3$  de concreto, añadiendo a la concreteira como último paso, y deberá mezclarse en un lapso de 4 a 5 minutos, con un porcentaje nulo de absorción de agua.

### **2.6.1. Cálculo de la cantidad de fibra:**

Se ha realizado 2 maneras o métodos para identificar la cantidad de fibra a usar en el hormigón, las cuales se las describirá a continuación:

#### Método #1

En este método se utiliza la cantidad de hormigón en kg, (sumada la cantidad de agua que absorben los agregados), y se lo divide para la densidad del hormigón, después de esto se lo multiplica por la dosificación de la fibra y se obtiene la cantidad de fibra a usar.

#### Método #2

En este método se calcula el volumen del cilindro al cual se verterá el hormigón y el encofrado de viga, se multiplica por la cantidad de moldes y vigas a usar, después de este proceso se suman los 2 volúmenes para obtener un volumen final. A continuación se realiza una regla de 3 con respecto a la dosificación de la fibra y se obtiene la cantidad de fibra a usar. Luego se realizará el cálculo respectivo a cada fibra, y se realizará un promedio para conocer la cantidad adecuada de fibra a utilizar.

- **Fibra de Nylon:**

Método #1

Dosificación inicial =  $0,6 \text{ kg/m}^3$

$$\text{Volumen de hormigón a realizarse} = \frac{\text{Masa del hormigón}}{\text{Densidad del hormigón}} \quad (2.12)$$

$$\text{Volumen de hormigón a realizarse} = \frac{0,333 \text{ Tn}}{2,4 \text{ Tn/m}^3}$$

Volumen de hormigón a realizarse =  $0,1388 \text{ m}^3$

Cantidad de fibra a usar =  $0,1388 \text{ m}^3 \times 0,6 \text{ kg/m}^3$

Cantidad de fibra a usar =  $0,08328 \text{ kg} = \mathbf{83,28 \text{ gr}}$

Método #2

Dosificación inicial =  $0,6 \text{ kg/m}^3$

$$V_{\text{cilindro}} = \pi \times r^2 \times h$$

$$V_{\text{cilindro}} = 3,1416 \times 0,075^2 \times 0,3 = 0,0053 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{viga}} = b \times h \times L$$

$$V_{\text{viga}} = 0,10 \times 0,10 \times 0,51 = 0,0051 \text{ m}^3$$

$$\text{Cilindro} = 15 \times 0,0053 \text{ m}^3 = 0,0795 \text{ m}^3$$

$$\text{Viga} = 9 \times 0,0051 \text{ m}^3 = 0,0459 \text{ m}^3$$

$$\text{Sumatoria} = 0,1254 \text{ m}^3$$

$$0,6 \text{ kg} \longrightarrow 1 \text{ m}^3$$

$$X \longrightarrow 0,1254 \text{ m}^3$$

X = Cantidad de fibra a usar = 0,007524 Kg = **75,24 gr**

$$\text{Promedio} = \frac{83,28 \text{ gr} + 75,24 \text{ gr}}{2} = \mathbf{79,26 \text{ gr}}$$

**Tabla 2.37.** Dosificación para 327 Kg de concreto.

Material	Peso (kg)	Dosificación
Cemento	48,16	1,00
Agua	27,45	0,57
Ripio	131,48	2,73
Arena	119,92	2,49
Fibra de Nylon	0,07926	0,6 kg/m <sup>3</sup>

**Fuente:** Autores de la Investigación

**Tabla 2.38.** Corrección por humedad y absorción en la dosificación.

Material	Peso (kg)	C.A. (%)	C.H. (%)	Dif. (%)	Correc. (kg)	Cantidad (kg)	Dosificación
Cemento	48,16	-	-	-	-	48,16	1,00
Agua	27,45	-	-	-	6,45	33,90	0,70
Ripio	131,48	3,17	0,60	2,57	3,37	131,48	2,73
Arena	119,92	3,20	0,63	2,57	3,08	119,92	2,49
Nylon	0,07926	4	-	-	0,0032	0,07926	0,6 kg/m <sup>3</sup>

**Fuente:** Autores de la Investigación

- **Fibra de Polipropileno:**

Método #1

Dosificación inicial = 0,9 kg/m<sup>3</sup>

$$\text{Volumen de hormigón a realizarse} = \frac{\text{Masa del hormigón}}{\text{Densidad del hormigón}} \quad (2.12)$$

$$\text{Volumen de hormigón a realizarse} = \frac{0,333 \text{ Tn}}{2,4 \text{ Tn/m}^3}$$

Volumen de hormigón a realizarse = 0,1388 m<sup>3</sup>  
 Cantidad de fibra a usar = 0,1388 m<sup>3</sup> x 0,9 kg/m<sup>3</sup>  
 Cantidad de fibra a usar = 0,12492 kg = **124,92 gr**

Método #2

Dosificación inicial = 0,9 kg/m<sup>3</sup>

$$V_{\text{cilindro}} = \pi \times r^2 \times h$$

$$V_{\text{cilindro}} = 3,1416 \times 0,075^2 \times 0,3 = 0,0053 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{viga}} = b \times h \times L$$

$$V_{\text{viga}} = 0,10 \times 0,10 \times 0,51 = 0,0051 \text{ m}^3$$

$$\text{Cilindro} = 15 \times 0,0053 \text{ m}^3 = 0,0795 \text{ m}^3$$

$$\text{Viga} = 9 \times 0,0051 \text{ m}^3 = 0,0459 \text{ m}^3$$

$$\text{Sumatoria} = 0,1254 \text{ m}^3$$

$$\begin{array}{l} 0,9 \text{ kg} \longrightarrow 1 \text{ m}^3 \\ X \longrightarrow 0,1254 \text{ m}^3 \end{array}$$

X = Cantidad de fibra a usar = 0,11286 Kg = **112,86 gr**

$$\text{Promedio} = \frac{124,92 \text{ gr} + 112,86 \text{ gr}}{2} = \mathbf{118,89 \text{ gr}}$$

**Tabla 2.39.** Dosificación para 327 kg de concreto.

Material	Peso (kg)	Dosificación
Cemento	48,16	1,00
Agua	27,45	0,57
Ripio	131,48	2,73
Arena	119,92	2,49
Fibra de Polipropileno	0,11889	0,9 kg/m <sup>3</sup>

Fuente: Autores de la Investigación

Tabla 2.40. Corrección por humedad y absorción en la dosificación.

Material	Peso (kg)	C.A. (%)	C.H. (%)	Dif. (%)	Correc. (kg)	Cantidades (kg)	Dosificac.
Cemento	48,16	-	-	-	-	48,16	1,00
Agua	27,45	-	-	-	6,45	33,90	0,70
Ripio	131,48	3,17	0,60	2,57	3,37	131,48	2,73
Arena	119,92	3,20	0,63	2,57	3,08	119,92	2,49
Polipropileno	0,11889	-	-	-	-	0,11889	0,9 kg/m <sup>3</sup>

Fuente: Autores de la Investigación

## 2.7. Fórmulas para calcular la Resistencia a la Compresión.

El ensayo a la compresión del hormigón es un método muy utilizado por los proyectistas e ingenieros ya que a través de este ensayo se puede comprobar si el hormigón que están usando logre alcanzar la resistencia requerida en dicha obra. Este ensayo también se lo considera como destructivo, ya que para conocer la resistencia del hormigón es necesario romper los cilindros para determinar la resistencia que tendrá dicho espécimen. Las dimensiones de estos moldes son variadas, las cuales deben estar especificadas en las normas ASTM-C42 y ASTM-C39, entre las más comunes se tienen:

Probeta Cilíndrica de 10 x 20 cm

Probeta Cilíndrica de 15 x 30 cm

Probeta Cilíndrica de 25 x 50 cm

Para esta investigación se ha utilizado las probetas cilíndricas de 15x30, las cuales hay que engrasar o colocar aceite para que la mezcla no se pegue al molde. Después se vierte la mezcla en 3 capas, a cada capa se le realizará 25 golpes con la varilla determinada.

La fórmula para determinar la resistencia a la compresión de las probetas es la siguiente:

$$R = \frac{F}{A} \quad (2.13)$$

Dónde:

R = Resistencia de ruptura a la compresión, en kg/cm<sup>2</sup>

F = Carga máxima aplicada en el momento de la falla, Kg

A = Área donde se aplica la carga máxima, cm<sup>2</sup> ( $A = \pi \times r^2$ )

### **Máquina de compresión.**

La máquina táctil de compresión de 2000 con lectura digital presenta una capacidad de carga de 450000 Lbf o 2000 KN, se pueden realizar pruebas a cilindros hasta 32 cm de diámetro. Las máquinas están diseñadas para probar cubos y moldes de acuerdo con la mayoría de las normas internacionales. Se suministra montado para la prueba de cilindro con puertas de seguridad. Cuando se usa para pruebas de cubo de piezas de separación adecuada de acuerdo con el tamaño de la muestra a ensayar son obligatorios y deben pedirse por separado.

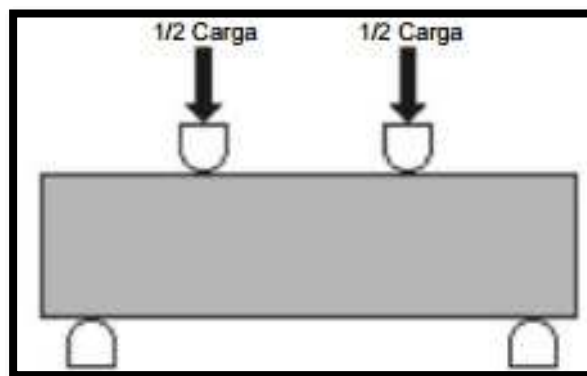


**Figura 2.15.** Máquina para realizar ensayos a compresión. (Autores de la Investigación)

## 2.8. Fórmulas para calcular la Resistencia a la Flexo-Tracción.

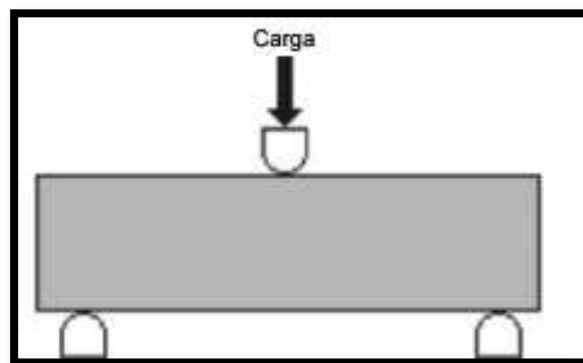
La resistencia a la flexo-tracción es una medida de la resistencia a la falla de una viga o de una losa de concreto no reforzada, esta resistencia también es conocida como Módulo de Rotura (MR) que tiene unidades de  $\text{kg/cm}^2$  y está determinada por 2 métodos de ensayo.

El primer método corresponde a que la viga estará cargada en los puntos tercios, y corresponde a la normativa ASTM C78. Aquí el módulo de rotura es más bajo que el siguiente método.



**Figura 2.16.** Viga cargada en los puntos tercios (NRMCA, National Ready Mixed Concrete Association, 2013)

El segundo método corresponde a que la viga estará cargada en el punto de medio, y corresponde a la normativa ASTM C293. Aquí el módulo de rotura es más alto que el primer método.



**Figura 2.17.** Viga cargada en el punto medio (NRMCA, National Ready Mixed Concrete Association, 2013)

El módulo de rotura en donde la viga estará cargada en los puntos tercios corresponde al 10% de la resistencia a la compresión, y cuando la viga está cargada en el punto medio corresponde al 15% de la resistencia a la compresión.

Las dimensiones de estas vigas son variadas, las cuales deben estar especificadas en las normas ASTM-C78 y ASTM-C293, entre las más comunes se tienen:

Viga de 10 x 10 x 50 cm

Viga de 15 x 15 x 75 cm

Viga de 20 x 20 x 100 cm

Para esta investigación se ha utilizado las vigas de 10 x 10 x 50 cm, las cuales hay que engrasar o colocar aceite para que la mezcla no se pegue al molde. Después se vierte la mezcla en 3 capas, a cada capa se le realizará 25 golpes con la varilla determinada.

La fórmula para determinar la resistencia a la Flexo-tracción de las vigas es la siguiente:

$$MR = \frac{M}{W} \quad (2.12)$$

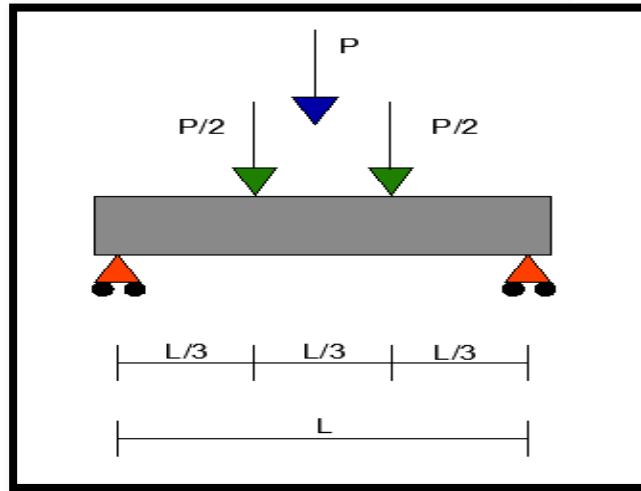
Dónde:

MR = Módulo de rotura, o resistencia a la flexo-tracción.

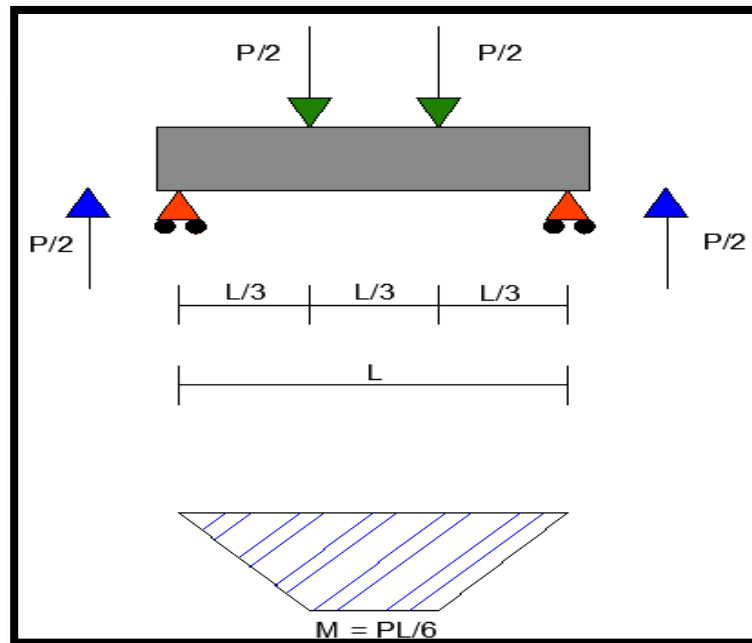
M = Momento máximo

W = Módulo resistente





**Figura 2.18.** Vigas apoyadas solicitadas por dos cargas. (Autores de la Investigación).



**Figura 2.19.** Determinación del momento máximo. (Autores de la Investigación)

Dónde:

$$M = \frac{P}{2} \times \frac{L}{3} \quad (2.14)$$

$$M = \frac{PL}{6} \quad (2.15)$$

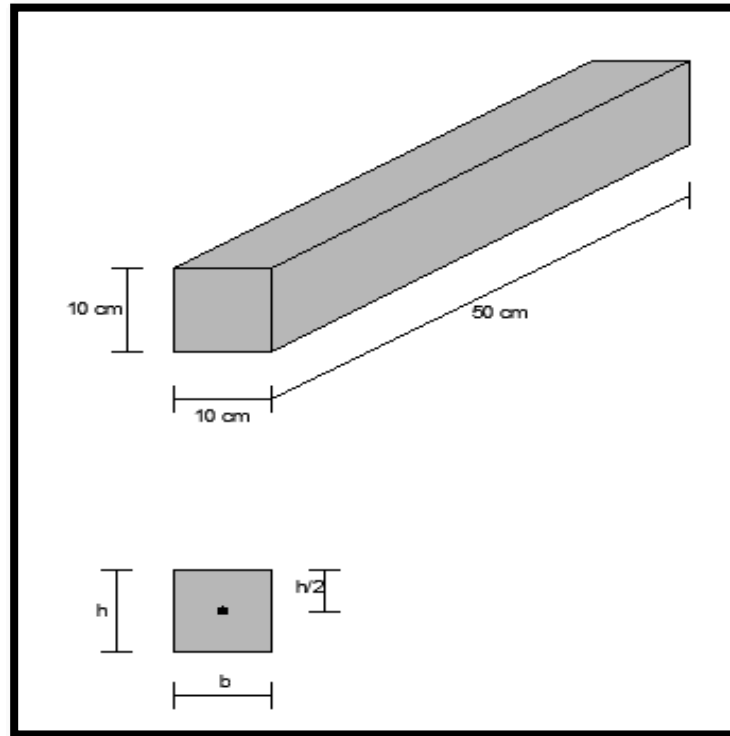


Figura 2.20. Datos y vista de viga (Autores de la Investigación)

$$W = \frac{b \times h^3}{12 \times \frac{h}{2}} \quad (2.16)$$

$$W = \frac{b \times h^2}{6} \quad (2.17)$$

Entonces la fórmula queda:

$$MR = \frac{\frac{PL}{6}}{\frac{bh^2}{6}} \quad (2.18)$$

$$MR = \frac{P \times L}{b \times h^2} \quad (2.19)$$

Dónde:

P = Carga máxima aplicada a la viga, Kg

L = Longitud de apoyo a apoyo, cm

b = Base de la viga, cm

h = Altura de la viga, cm

### **Máquina de flexo-tracción.**

ELE ha diseñado una gama de máquinas que permiten la facilidad de realizar ensayos a las muestras de hormigón. Las cargas más bajas se utilizan para probar hormigón en flexión, es por esto que las muestras no deben tener un tamaño grande puesto a que son difíciles de manejar. La gama de equipos de prueba de flexión ofrece una amplia variedad de elección y métodos de ensayo. En general se puede suponer para la mayoría de los propósitos que la resistencia a la flexión del hormigón normal es de aproximadamente 10% de la resistencia a la compresión lograda en el mismo hormigón.



**Figura 2.21.** Máquina para realizar ensayos a tracción. (Autores de la Investigación)

## CAPÍTULO III

### 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE ENSAYOS

#### 3.1. Resultados obtenidos mediante cilindros y vigas sometidos a ensayos de compresión y flexo tracción.

La presente investigación se basa en la comparación del hormigón utilizando como agregados dos tipos de fibras (nylon y polipropileno), con la finalidad de realizar ensayos normados de compresión y flexo-tracción para generar diferencias, semejanzas y de esta manera exponer la fibra que resulte factible.

Con la intención de alcanzar resultados confiables, tanto para hormigón simple, como también para hormigón con fibras, se realizaron en total 45 cilindros dividiendo 15 cilindros para cada tipo de hormigón con y sin fibras, ensayados a los siete, catorce y veinte y ocho días; así como también se realizaron 27 vigas, dividiendo 15 vigas para cada tipo de concreto con y sin fibras, ensayados en el mismo tiempo que los cilindros (7,14 y 28 días).

A continuación se presentarán datos que dan como resultado los ensayos a compresión de las probetas de hormigón simple, hormigón simple + fibra de polipropileno y hormigón simple + fibra de nylon; así como también los resultados a tracción de las vigas de hormigón simple, hormigón simple + fibra de polipropileno y hormigón simple + fibra de nylon:



**UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO DE MANABÍ”**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



**ENSAYO DE COMPRESIÓN A PROBETAS**

**Tabla 3.41.** Resultados de los ensayos de compresión a probetas de hormigón simple a los 7 días de edad.

<b>HORMIGÓN SIMPLE</b>						
<b># de Cilindro</b>	<b>F'c (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Edad (Días)</b>	<b>Carga (kg)</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>% de Resistencia</b>
1	210	7	30416,0	176,71	172,1	81,95
2	210	7	28661,0	176,71	162,1	77,19
3	210	7	29617,5	176,71	167,4	79,71
4	210	7	31573,4	176,71	178,6	85,05
5	210	7	29492,5	176,71	166,8	79,43
<b>Promedio:</b>					<b>169,4</b>	<b>80,67</b>

**Fuente:** Autores de la Investigación

En ésta tabla de hormigón simple, con edad de 7 días, se puede observar que se obtuvo una resistencia máxima de 178,6 kg/cm<sup>2</sup> y como resistencia mínima 162,1 kg/cm<sup>2</sup>, realizando un promedio de 5 muestras se obtiene la resistencia promedio de 169,4 kg/cm<sup>2</sup> y con un porcentaje de resistencia del 80,67%.

El diseño de hormigón se elaboró para conseguir una resistencia de 210kg/cm<sup>2</sup>, con un 100% de porcentaje de resistencia; siendo los 7 primeros días de curado del hormigón se ha obtenido más del 70% de la resistencia requerida, por lo que se puede mencionar que va muy bien encaminado el diseño del hormigón.



**UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO DE MANABÍ”**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



**ENSAYO DE COMPRESIÓN A PROBETAS**

**Tabla 3.42.** Resultados de los ensayos de compresión a probetas de hormigón simple a los 14 días de edad.

<b>HORMIGÓN SIMPLE</b>						
<b># de Cilindro</b>	<b>F'c (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Edad (Días)</b>	<b>Carga (kg)</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>% de Resistencia</b>
1	210	14	33705,5	176,71	190,7	90,81
2	210	14	30816,5	176,71	174,3	83,00
3	210	14	31916,7	176,71	180,6	86,00
4	210	14	31378,9	176,71	177,5	84,52
5	210	14	31896,9	176,71	180,5	85,95
<b>Promedio:</b>					<b>180,7</b>	<b>86,06</b>

**Fuente:** Autores de la Investigación

En ésta tabla de hormigón simple, con edad de 14 días, se puede observar que se obtuvo una resistencia máxima de 190,7 kg/cm<sup>2</sup> y como resistencia mínima 174,3 kg/cm<sup>2</sup>, realizando un promedio de 5 muestras se obtiene la resistencia promedio de 180,7 kg/cm<sup>2</sup> y con un porcentaje de resistencia del 86,06 %.

El diseño de hormigón se elaboró para conseguir una resistencia de 210kg/cm<sup>2</sup>, con un 100% de porcentaje de resistencia; En los 14 días posteriores de curado del hormigón se ha obtenido el 86% de la resistencia requerida.



**UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO DE MANABÍ”**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



**ENSAYO DE COMPRESIÓN A PROBETAS**

**Tabla 3.43.** Resultados de los ensayos de compresión a probetas de hormigón simple a los 28 días de edad.

<b>HORMIGÓN SIMPLE</b>						
<b># de Cilindro</b>	<b>F'c (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Edad (Días)</b>	<b>Carga (kg)</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>% de Resistencia</b>
1	210	28	37463,9	176,71	212,0	100,95
2	210	28	38841,4	176,71	219,8	104,67
3	210	28	36102,5	176,71	204,3	97,29
4	210	28	37127,0	176,71	210,1	100,05
5	210	28	36844,3	176,71	208,5	99,29
<b>Promedio:</b>					<b>210,9</b>	<b>100,45</b>

**Fuente:** Autores de la Investigación

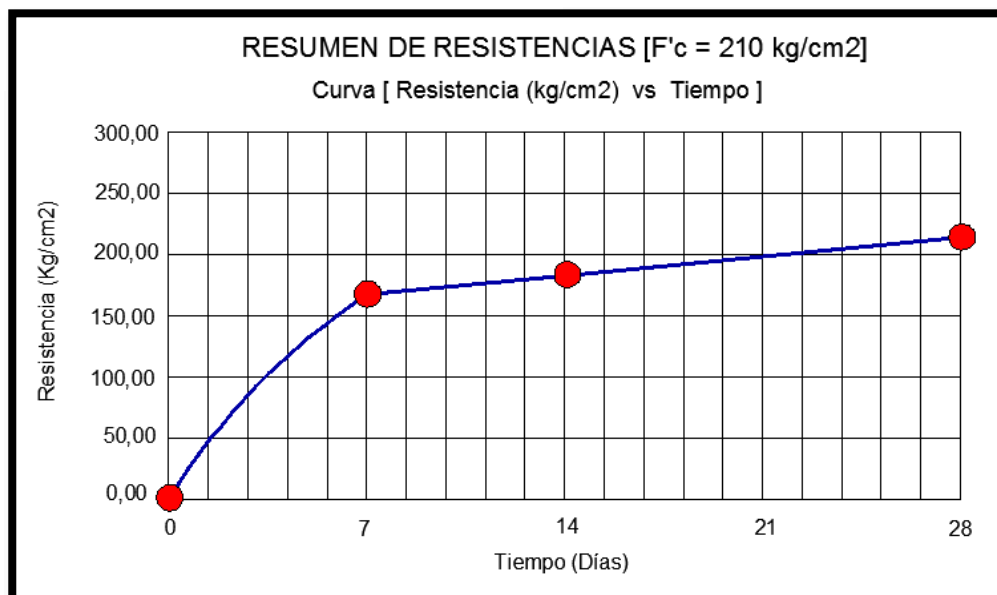
En ésta tabla de hormigón simple, con edad de 28 días, se puede observar que se obtuvo una resistencia máxima de 219,8 kg/cm<sup>2</sup> y como resistencia mínima 204,3 kg/cm<sup>2</sup>, realizando un promedio de 5 muestras se obtiene la resistencia promedio de 210,9 kg/cm<sup>2</sup> y con un porcentaje de resistencia del 100,45 %.

El diseño de hormigón se elaboró para conseguir una resistencia de 210kg/cm<sup>2</sup>, con un 100% de porcentaje de resistencia; En los 28 últimos días de curado del hormigón se obtuvo 100,45% de la resistencia requerida, es decir un 0,45% más de lo que se pensó obtener, de esta manera se puede decir que el diseño de hormigón es el indicado.

**Tabla 3.44.** Resumen de Resistencias de los ensayos de compresión a probetas de hormigón simple.

HORMIGÓN SIMPLE		
Edad (Dias)	Resistencias	
	(kg/cm <sup>2</sup> )	(%)
7	169,4	80,67
14	180,7	86,06
28	210,9	100,45

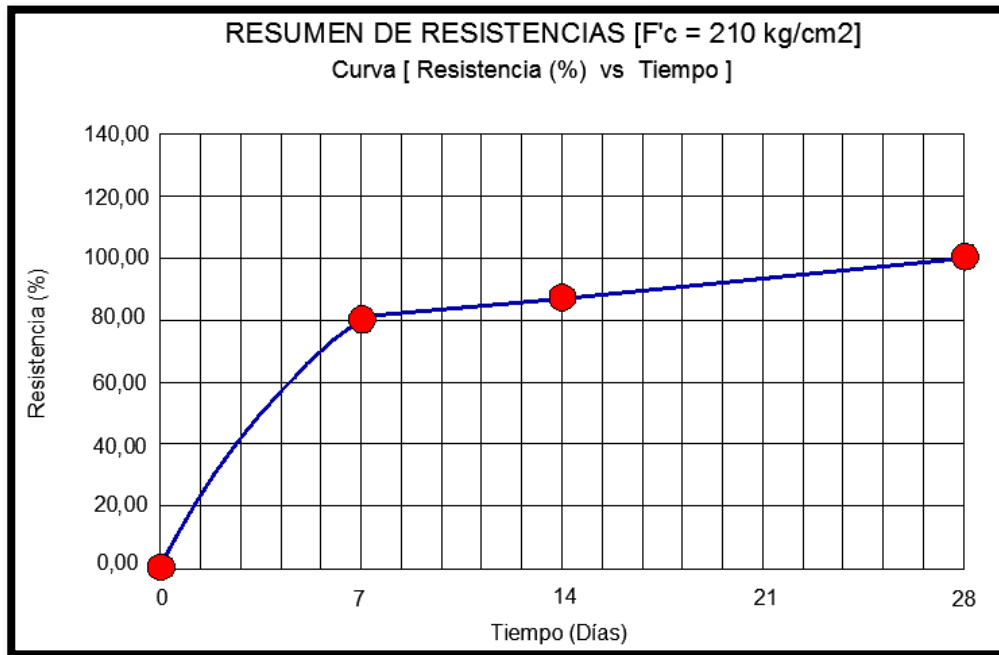
Fuente: Autores de la Investigación



**Figura 3.22.** Resumen de resistencias de los ensayos de compresión a probetas de hormigón simple en la curva Resistencia Vs Tiempo (Autores de la Investigación)

La resistencia promedio que se obtuvo durante los 7 primeros días de curado de hormigón corresponde a 169 kg/cm<sup>2</sup>, después en los 7 días posteriores es decir a los 14 días de curado del hormigón se obtuvo 180,7 kg/cm<sup>2</sup>, y ya en el día 28 alcanza la resistencia y un poquito más la cual es de 210,9 kg/cm<sup>2</sup>





**Figura 3.23.** Resumen de resistencias de los ensayos de compresión a probetas de hormigón simple en la curva de porcentaje Resistencia Vs Tiempo (Autores de la Investigación)

Los porcentajes obtenidos durante todo el curado del hormigón se encuentran distribuidos en 3 valores, en los 7 primeros días se ha obtenido 80,67 %, más del 70 % de la resistencia requerida, por lo que se puede mencionar que va muy bien encaminado el diseño del hormigón, en los 14 días de curado de hormigón se tiene 86,06 % y en el último día se alcanza un 100,45%, es decir 0,45 % más de la resistencia elaborada.



**UNIVERSIDAD LAICA "ELOY ALFARO DE MANABÍ"**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



**ENSAYO DE COMPRESIÓN A PROBETAS**

**Tabla 3.45.** Resultados de los ensayos de compresión a probetas de hormigón simple + fibra de nylon a los 7 días de edad.

<b>HORMIGÓN SIMPLE + FIBRA DE NYLON</b>						
<b># de Cilindro</b>	<b>F'c (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Edad (Días)</b>	<b>Carga (kg)</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>% de Resistencia</b>
1	210	7	33575,8	176,71	190,0	90,48
2	210	7	37092,6	176,71	209,9	99,95
3	210	7	34741,5	176,71	196,6	93,62
4	210	7	35607,2	176,71	201,5	95,95
5	210	7	36756,3	176,71	208,0	99,05

<b>Promedio:</b>	<b>201,2</b>	<b>95,81</b>
------------------	--------------	--------------

**Fuente:** Autores de la Investigación

En ésta tabla de hormigón simple + fibra de nylon, con edad de 7 días, se puede observar que se obtuvo una resistencia máxima de 209,9 kg/cm<sup>2</sup> y como resistencia mínima 190,0 kg/cm<sup>2</sup>, realizando un promedio de 5 muestras se obtiene la resistencia promedio de 201,2 kg/cm<sup>2</sup> y con un porcentaje de resistencia del 95,81%.

El diseño de hormigón se elaboró para conseguir una resistencia de 210kg/cm<sup>2</sup>, con un 100% de porcentaje de resistencia; siendo los 7 primeros días de curado del hormigón se ha obtenido un 96% de la resistencia requerida, 4% menos de la resistencia de diseño.



### ENSAYO DE COMPRESIÓN A PROBETAS

Tabla 3.46. Resultados de los ensayos de compresión a probetas de hormigón simple + fibra de nylon a los 14 días de edad.

HORMIGÓN SIMPLE + FIBRA DE NYLON						
# de Cilindro	F'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (Días)	Carga (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	% de Resistencia
1	210	14	38547,7	176,71	218,1	103,86
2	210	14	39531,5	176,71	223,7	106,52
3	210	14	37547,8	176,71	212,4	101,14
4	210	14	35583,5	176,71	201,3	95,86
5	210	14	35511,0	176,71	200,9	95,67
<b>Promedio:</b>					<b>211,3</b>	<b>100,62</b>

Fuente: Autores de la Investigación

En ésta tabla de hormigón simple + fibra de nylon, con edad de 14 días, se puede observar que se obtuvo una resistencia máxima de 223,7 kg/cm<sup>2</sup> y como resistencia mínima 200,9 kg/cm<sup>2</sup>, realizando un promedio de 5 muestras se obtiene la resistencia promedio de 211,3 kg/cm<sup>2</sup> y con un porcentaje de resistencia del 100,62 %.

El diseño de hormigón se elaboró para conseguir una resistencia de 210kg/cm<sup>2</sup>, con un 100% de porcentaje de resistencia; En los 14 días posteriores de curado del hormigón se ha obtenido el 100,62% de la resistencia requerida, es decir un 0,62% más de lo que se pensó obtener.



### ENSAYO DE COMPRESIÓN A PROBETAS

Tabla 3.47. Resultados de los ensayos de compresión a probetas de hormigón simple + fibra de nylon a los 28 días de edad.

HORMIGÓN SIMPLE + FIBRA DE NYLON						
# de Cilindro	F'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (Días)	Carga (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	% de Resistencia
1	210	28	41547,8	176,71	235,4	112,10
2	210	28	42402,5	176,71	240,5	114,52
3	210	28	44286,7	176,71	250,6	119,33
4	210	28	42192,4	176,71	238,8	113,71
5	210	28	40432,8	176,71	250,8	119,43
<b>Promedio:</b>					<b>243,2</b>	<b>115,82</b>

Fuente: Autores de la Investigación

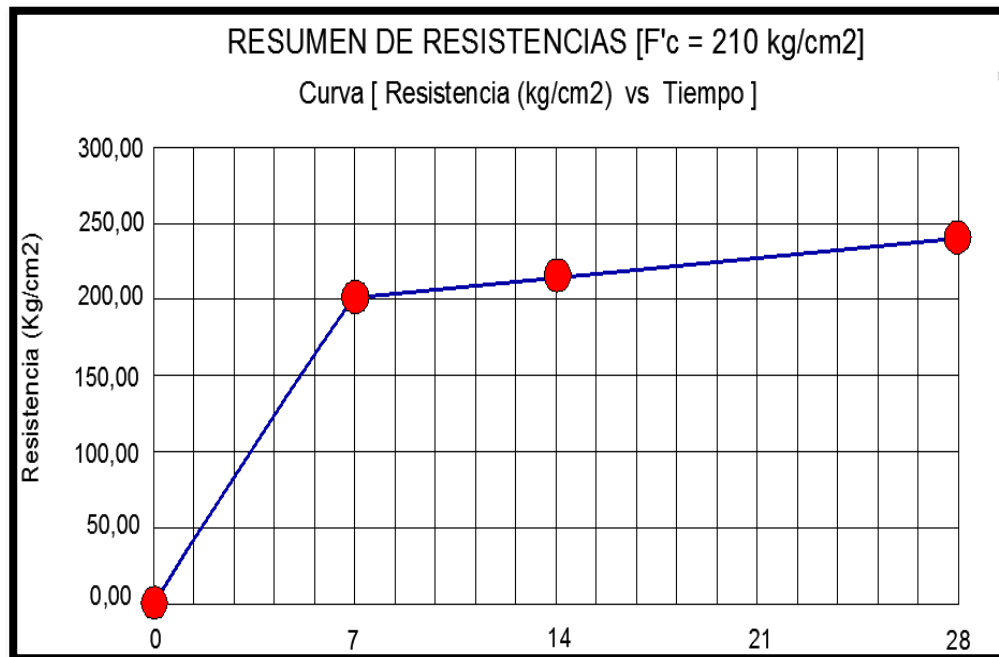
En ésta tabla de hormigón simple + fibra de nylon, con edad de 28 días, se puede observar que se obtuvo una resistencia máxima de 250,6 kg/cm<sup>2</sup> y como resistencia mínima 235,4 kg/cm<sup>2</sup>, realizando un promedio de 5 muestras se obtiene la resistencia promedio de 243,2 kg/cm<sup>2</sup> y con un porcentaje de resistencia del 115,82 %.

El diseño de hormigón se elaboró para conseguir una resistencia de 210kg/cm<sup>2</sup>, con un 100% de porcentaje de resistencia; En los 28 últimos días de curado del hormigón se obtuvo 115,82% de la resistencia requerida, es decir un 15,82% más que la resistencia del diseño de hormigón establecido.

**Tabla 3.48.** Resumen de Resistencias de los ensayos de compresión a probetas de hormigón simple + fibras de nylon

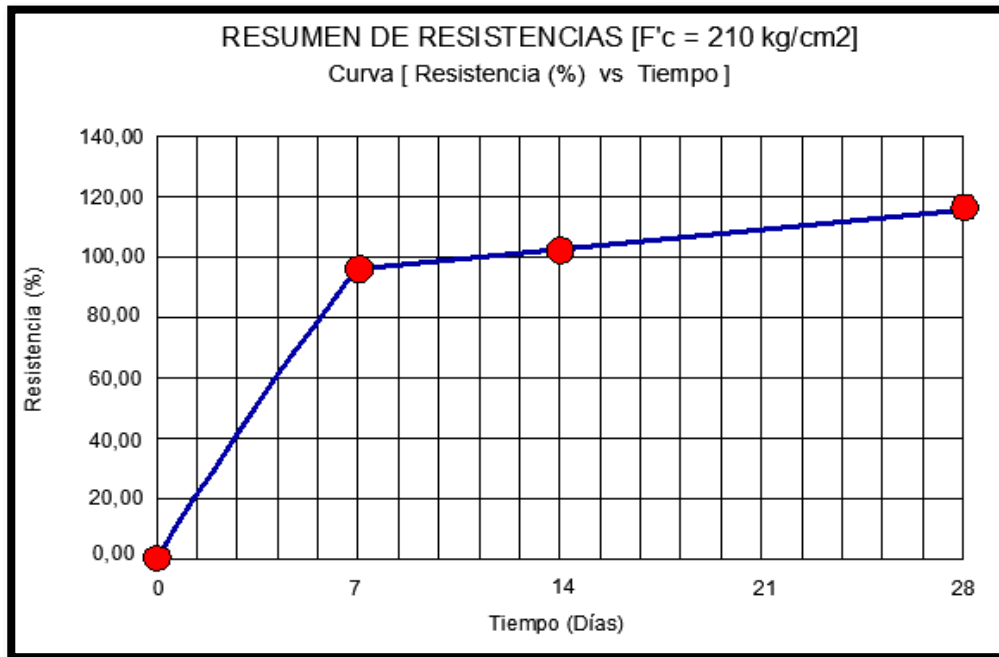
HORMIGÓN SIMPLE + FIBRA DE NYLON		
Edad (Días)	Resistencias	
	(kg/cm <sup>2</sup> )	(%)
7	201,2	95,81
14	211,3	100,62
28	243,2	115,82

Fuente: Autores de la Investigación



**Figura 3.24.** Resumen de resistencias de los ensayos de compresión a probetas de hormigón simple + fibras de nylon en la curva Resistencia Vs Tiempo (Autores de la Investigación)

La resistencia promedio que se obtuvo durante los 7 primeros días de curado de hormigón corresponde a 201,2 kg/cm<sup>2</sup>, después en los 7 días posteriores es decir a los 14 días de curado del hormigón se obtuvo 211,3 kg/cm<sup>2</sup>, y ya en el día 28 alcanza la resistencia y un poquito más la cual es de 243,2 kg/cm<sup>2</sup>



**Figura 3.25.** Resumen de resistencias de los ensayos de compresión a probetas de hormigón simple + fibras de nylon en la curva de porcentaje Resistencia Vs Tiempo (Autores de la Investigación)

Los porcentajes obtenidos durante todo el curado del hormigón se encuentran distribuidos en 3 valores, en los 7 primeros días se ha obtenido 95,81 %, en los 14 días de curado de hormigón se tiene 100,62 % y en el último día se alcanza un 115,82%, se puede decir que aproximadamente en el día 21 recién está alcanzando lo provisto y en el día 28 logra llegar a un 15,82 % más de la resistencia elaborada.



### ENSAYO DE COMPRESIÓN A PROBETAS

Tabla 3.49. Resultados de los ensayos de compresión a probetas de hormigón simple + fibra de polipropileno a los 7 días de edad.

HORMIGÓN SIMPLE + FIBRA DE POLIPROPILENO						
# de Cilindro	F'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (Días)	Carga (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	% de Resistencia
1	210	7	39836,5	176,71	224,3	106,81
2	210	7	38291,1	176,71	216,5	103,10
3	210	7	37583,5	176,71	211,3	100,62
4	210	7	39005,5	176,71	220,7	105,10
5	210	7	38563,8	176,71	218,0	103,81
<b>Promedio:</b>					<b>218,2</b>	<b>103,89</b>

Fuente: Autores de la Investigación

En ésta tabla de hormigón simple + fibra de polipropileno, con edad de 7 días, se puede observar que se obtuvo una resistencia máxima de 224,3 kg/cm<sup>2</sup> y como resistencia mínima 211,3 kg/cm<sup>2</sup>, realizando un promedio de 5 muestras se obtiene la resistencia promedio de 218,2 kg/cm<sup>2</sup> y con un porcentaje de resistencia del 103,89%.

El diseño de hormigón se elaboró para conseguir una resistencia de 210kg/cm<sup>2</sup>, con un 100% de porcentaje de resistencia; En los 7 primeros días de curado del hormigón se obtuvo 103,89% de la resistencia requerida, es decir un 3,89% más que la resistencia del diseño de hormigón establecido.



### ENSAYO DE COMPRESIÓN A PROBETAS

**Tabla 3.50.** Resultados de los ensayos de compresión a probetas de hormigón simple + fibra de polipropileno a los 14 días de edad.

<b>HORMIGÓN SIMPLE + FIBRA DE POLIPROPILENO</b>						
<b># de Cilindro</b>	<b>F'c (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Edad (Días)</b>	<b>Carga (kg)</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>% de Resistencia</b>
1	210	14	40679,6	176,71	230,2	109,62
2	210	14	42729,4	176,71	241,8	115,14
3	210	14	41722,2	176,71	236,1	112,43
4	210	14	41686,8	176,71	235,9	112,33
5	210	14	41068,3	176,71	232,4	110,67

<b>Promedio:</b>	<b>235,3</b>	<b>112,04</b>
------------------	--------------	---------------

Fuente: Autores de la Investigación

En ésta tabla de hormigón simple + fibra de polipropileno, con edad de 14 días, se puede observar que se obtuvo una resistencia máxima de 241,8 kg/cm<sup>2</sup> y como resistencia mínima 230,2 kg/cm<sup>2</sup>, realizando un promedio de 5 muestras se obtiene la resistencia promedio de 235,3 kg/cm<sup>2</sup> y con un porcentaje de resistencia del 112,04%.

El diseño de hormigón se elaboró para conseguir una resistencia de 210kg/cm<sup>2</sup>, con un 100% de porcentaje de resistencia; En los 14 días posteriores de curado del hormigón se obtuvo 112,04% de la resistencia requerida, es decir un 12,04% más que la resistencia del diseño de hormigón establecido.





**UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO DE MANABÍ”**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



**ENSAYO DE COMPRESIÓN A PROBETAS**

**Tabla 3.51.** Resultados de los ensayos de compresión a probetas de hormigón simple + fibra de polipropileno a los 28 días de edad.

<b>HORMIGÓN SIMPLE + FIBRA DE POLIPROPILENO</b>						
<b># de Cilindro</b>	<b>F'c (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Edad (Días)</b>	<b>Carga (kg)</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>% de Resistencia</b>
1	210	28	49727,3	176,71	281,4	134,00
2	210	28	47801,1	176,71	270,5	128,81
3	210	28	48578,7	176,71	274,9	130,91
4	210	28	48260,6	176,71	273,1	130,05
5	210	28	49515,3	176,71	280,2	133,43

<b>Promedio:</b>	<b>276,0</b>	<b>131,44</b>
------------------	--------------	---------------

**Fuente:** Autores de la Investigación

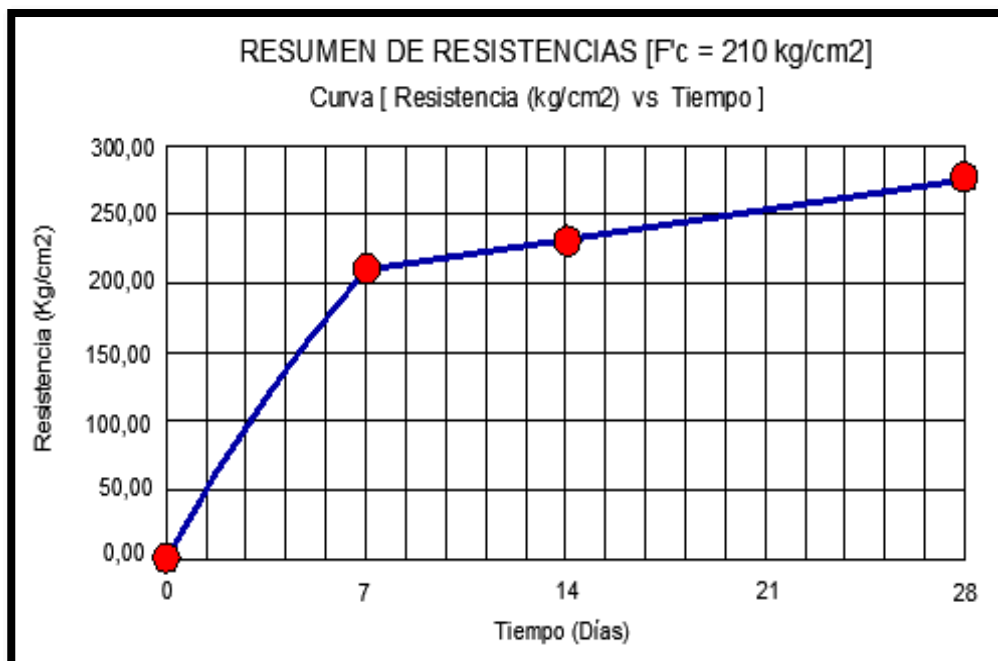
En ésta tabla de hormigón simple + fibra de polipropileno, con edad de 28 días, se puede observar que se obtuvo una resistencia máxima de 281,4 kg/cm<sup>2</sup> y como resistencia mínima 270,5 kg/cm<sup>2</sup>, realizando un promedio de 5 muestras se obtiene la resistencia promedio de 276,0 kg/cm<sup>2</sup> y con un porcentaje de resistencia del 131,44%.

El diseño de hormigón se elaboró para conseguir una resistencia de 210kg/cm<sup>2</sup>, con un 100% de porcentaje de resistencia; En los 28 últimos días de curado del hormigón se obtuvo 131,44% de la resistencia requerida, es decir un 31,44% más que la resistencia del diseño de hormigón establecido.

**Tabla 3.52.** Resumen de Resistencias de los ensayos de compresión a probetas de hormigón simple + fibras de polipropileno

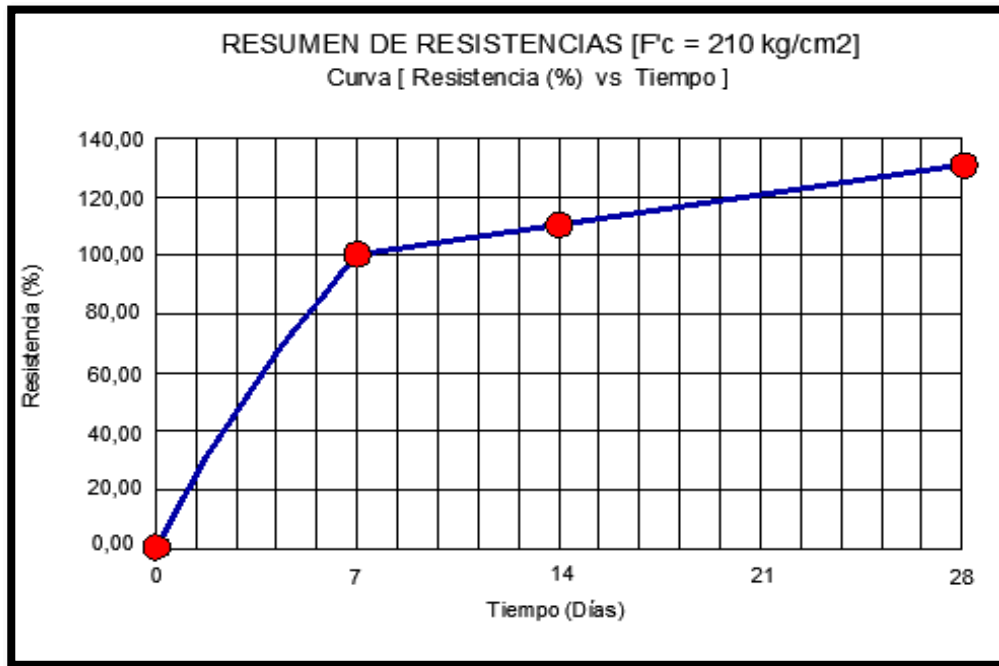
HORMIGÓN SIMPLE + FIBRA DE POLIPROPILENO		
Edad (Días)	Resistencias	
	(kg/cm <sup>2</sup> )	(%)
7	218,2	103,89
14	235,3	112,05
28	276,0	131,43

Fuente: Autores de la Investigación



**Figura 3.26.** Resumen de resistencias de los ensayos de compresión a probetas de hormigón simple + fibras de polipropileno en la curva Resistencia Vs Tiempo (Autores de la Investigación)

La resistencia promedio que se obtuvo durante los 7 primeros días de curado de hormigón corresponde a 218,2 kg/cm<sup>2</sup>, después en los 7 días posteriores es decir a los 14 días de curado del hormigón se obtuvo 235,3 kg/cm<sup>2</sup>, y ya en el día 28 alcanza la resistencia y un poquito más la cual es de 276,0 kg/cm<sup>2</sup>



**Figura3. 27.** Resumen de resistencias de los ensayos de compresión a probetas de hormigón simple + fibras de nylon en la curva de porcentaje Resistencia Vs Tiempo (Autores de la Investigación)

Los porcentajes obtenidos durante todo el curado del hormigón se encuentran distribuidos en 3 valores, en los 7 primeros días se ha obtenido 103,89 %, en los 14 días de curado de hormigón se tiene 112,05 alcanzando lo previsto y un poco más de 210 kg/cm<sup>2</sup> % y en el último día se alcanza un 131,43 %, en el día 28 logra llegar a un 31,43 % más de la resistencia elaborada.

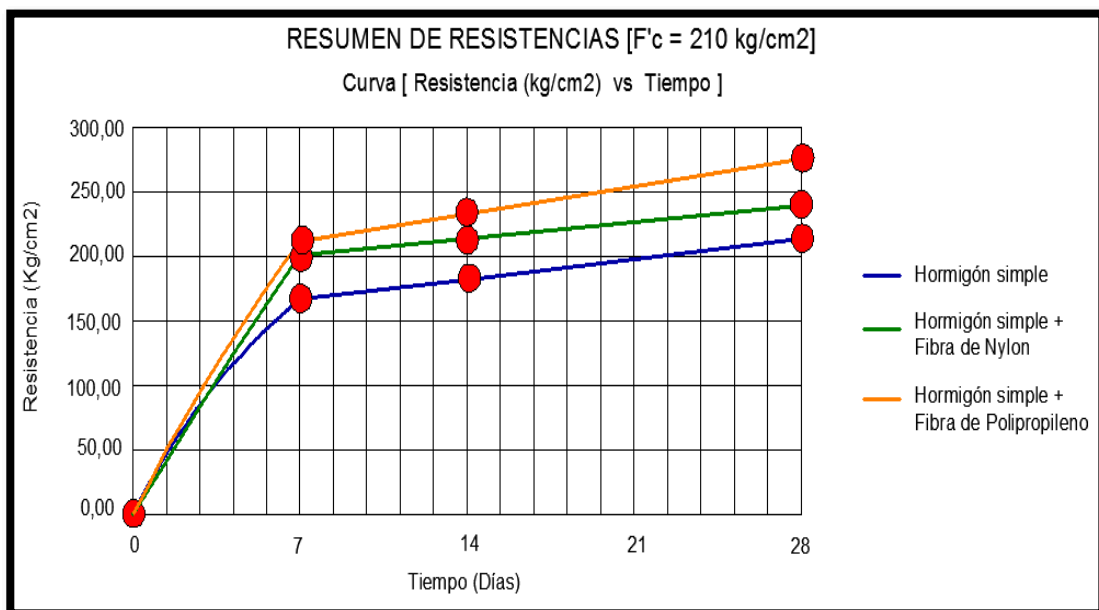
### 3.1.1. Resumen de Resultados de los cilindros sometidos a ensayos de compresión

A continuación en el siguiente cuadro se resumirá las resistencias obtenidas en los ensayos de compresión realizados a los especímenes de hormigón simple, hormigón simple + fibra de nylon y hormigón simple + fibra de polipropileno.

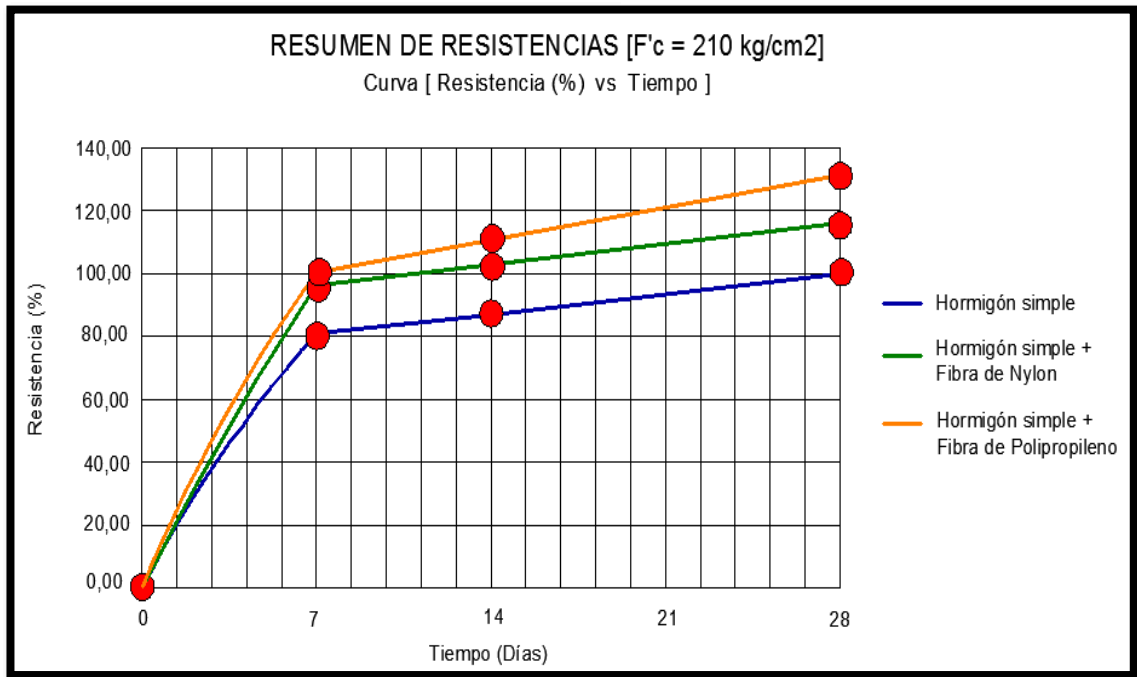
**Tabla 3.53.** Resumen de las resistencia a compresión de los diferentes tipos de cilindros con sus respectivas fibras.

Edad	Resistencias					
	H. simple		H. simple + Fibra de Nylon		H. simple + Fibra de Polipropileno	
(Dias)	(kg/cm <sup>2</sup> )	(%)	(kg/cm <sup>2</sup> )	(%)	(kg/cm <sup>2</sup> )	(%)
7	169,4	80,67	201,2	95,81	218,2	103,89
14	180,7	86,06	211,3	100,62	235,3	112,05
28	210,9	100,45	243,2	115,82	276,0	131,43
Aumento de:	0,45 %		15,82 %		31,43 %	

Fuente: Autores de la Investigación.



**Figura 3.28.** Resumen de las resistencia a compresión de los diferentes tipos de cilindros con sus respectivas fibras en la curva Resistencia Vs Tiempo (Autores de la Investigación).

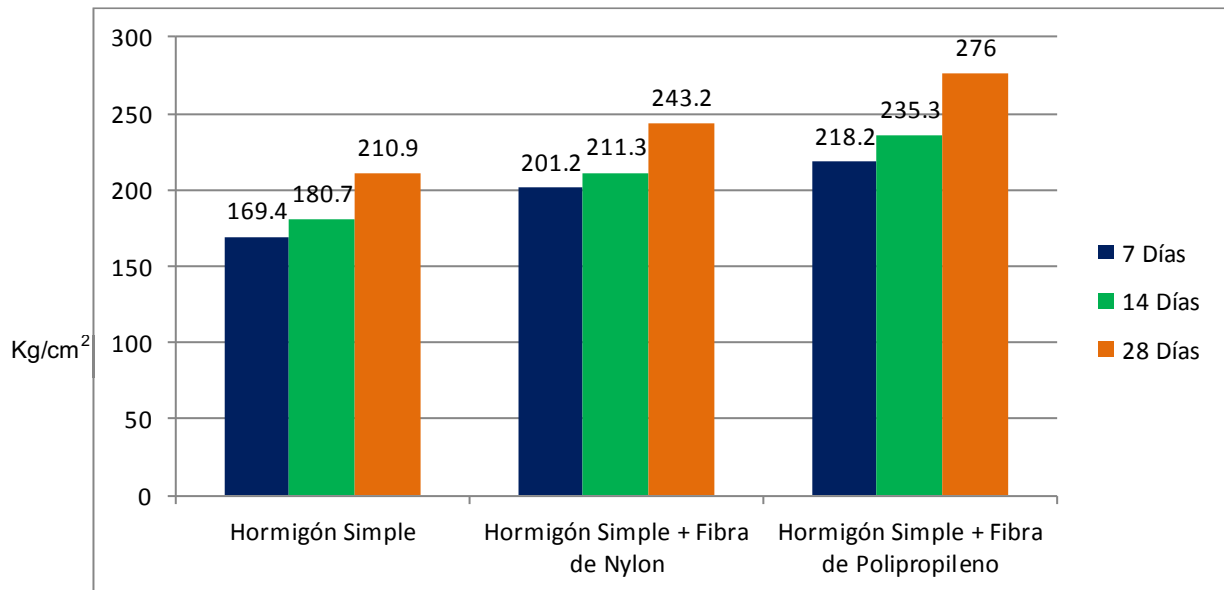


**Figura 3.29.** Resumen de las resistencia a compresión de los diferentes tipos de cilindros con sus respectivas fibras en la curva porcentaje Resistencia Vs Tiempo. (Autores de la Investigación).

Es de suma importancia recalcar que el diseño de hormigón se elaboró para conseguir una resistencia de  $210 \text{ kg/cm}^2$ , con un 100% de porcentaje de resistencia, observando la tabla podemos detallar que ambas fibras a los 28 días sobrepasan la resistencia requerida en el diseño, sin embargo, el hormigón con fibra de polipropileno. alcanza una mayor resistencia correspondiente a  $276 \text{ Kg/cm}^2$  y 131.43% de porcentaje de resistencia, en comparación de la fibra de nylon que es de  $243.2 \text{ Kg/cm}^2$  y 115.82% de porcentaje de resistencia

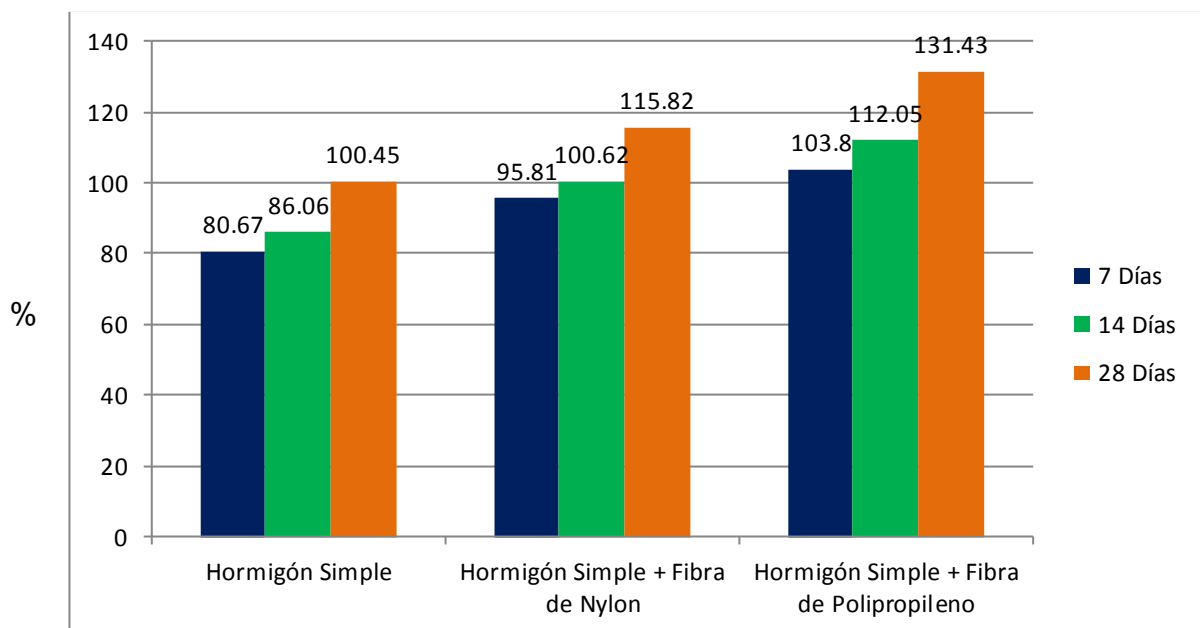
Por otro lado, se puede mencionar que el hormigón con fibra de polipropileno alcanza y supera desde los 7 días, la resistencia y porcentaje del diseño de hormigón requerido con  $218.2 \text{ Kg/cm}^2$  y 103% porcentaje de resistencia; mientras que el hormigón con fibra de nylon recién a los 14 días alcanza la resistencia requerida con  $211.3 \text{ Kg/cm}^2$  y 100.62% porcentaje de resistencia.

A continuación se muestra un cuadro estadístico de las resistencias que se obtuvieron en el ensayo a compresión del hormigón simple, con fibra de nylon y polipropileno durante los 7, 14 y 28 días.



**Figura 3.30.** Cuadro estadístico de resistencias del ensayo de compresión de los diferentes especímenes. . (Autores de la Investigación).

A continuación se muestra un cuadro estadístico del porcentaje de resistencias que se obtuvieron en el ensayo a compresión del hormigón simple, con fibra de nylon y polipropileno durante los 7, 14 y 28 días.



**Figura 3.31.** Cuadro estadístico de porcentaje de resistencias del ensayo de compresión de los diferentes especímenes. . (Autores de la Investigación).



UNIVERSIDAD LAICA "ELOY ALFARO DE MANABÍ"  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**ENSAYO DE FLEJO-TRACCIÓN A VIGAS**

Tabla 3.54. Resultados de los ensayos de flexo-tracción a vigas de hormigón simple a los 7 días de edad.

Descripción	Hormigón simple		
Diseño de Hormigón	210 kg/cm <sup>2</sup> (Nota: se utiliza el 10% de este valor para este ensayo)		
Nº de Muestra	1	2	3
Edad (Días)	7	7	7
Longitud (cm)	51	51	51
Ancho (cm)	10	10	10
Altura (cm)	10	10	10
Distancia entre apoyos (cm)	45	45	45
Carga Máxima (Kg)	415,160	365,126	412,645
Momento Máximo (kgcm)	18682,2	16430,7	18569,0
Módulo Resistente (cm <sup>3</sup> )	1000	1000	1000
Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	18,68	16,43	18,57
Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	17,89		
% de Resistencia	88,95	78,24	88,43
Promedio (%)	85,21		

Fuente: Autores de la Investigación.

En ésta tabla de hormigón simple con edad de 7 días, se puede observar que se obtuvo un promedio de 17,89 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia y con un porcentaje de 85,21%, lo que significa que se encuentra por encima del 70% recomendado.



UNIVERSIDAD LAICA "ELOY ALFARO DE MANABÍ"  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**ENSAYO DE FLEXO-TRACCIÓN A VIGAS**

Tabla 3.55. Resultados de los ensayos de flexo-tracción a vigas de hormigón simple a los 14 días de edad.

Descripción	Hormigón simple		
Diseño de Hormigón	210 kg/cm <sup>2</sup> (Nota: se utiliza el 10% de este valor para este ensayo)		
Nº de Muestra	1	2	3
Edad (Días)	14	14	14
Longitud (cm)	51	51	51
Ancho (cm)	10	10	10
Altura (cm)	10	10	10
Distancia entre apoyos (cm)	45	45	45
Carga Máxima (Kg)	430,014	421,415	416,415
Momento Máximo (kgcm)	19350,6	18963,7	18738,7
Módulo Resistente (cm <sup>3</sup> )	1000	1000	1000
Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	19,35	18,96	18,74
Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	19,02		
% de Resistencia	92,14	90,29	89,24
Promedio (%)	90,57		

Fuente: Autores de la Investigación.

En ésta tabla de hormigón simple con edad de 14 días, se puede observar que se obtuvo un promedio de 19,02 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia y con un porcentaje de 90,57%.





UNIVERSIDAD LAICA "ELOY ALFARO DE MANABÍ"  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**ENSAYO DE FLEXO-TRACCIÓN A VIGAS**

Tabla 3.56. Resultados de los ensayos de flexo-tracción a vigas de hormigón simple a los 28 días de edad.

Descripción	Hormigón simple		
Diseño de Hormigón	210 kg/cm <sup>2</sup> (Nota: se utiliza el 10% de este valor para este ensayo)		
Nº de Muestra	1	2	3
Edad (Días)	28	28	28
Longitud (cm)	51	51	51
Ancho (cm)	10	10	10
Altura (cm)	10	10	10
Distancia entre apoyos (cm)	45	45	45
Carga Máxima (Kg)	479,383	470,468	460,188
Momento Máximo (kgcm)	21572,2	21171,1	20708,5
Módulo Resistente (cm <sup>3</sup> )	1000	1000	1000
Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	21,57	21,17	20,71
Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	21,15		
% de Resistencia	102,71	100,81	98,62
Promedio (%)	100,71		

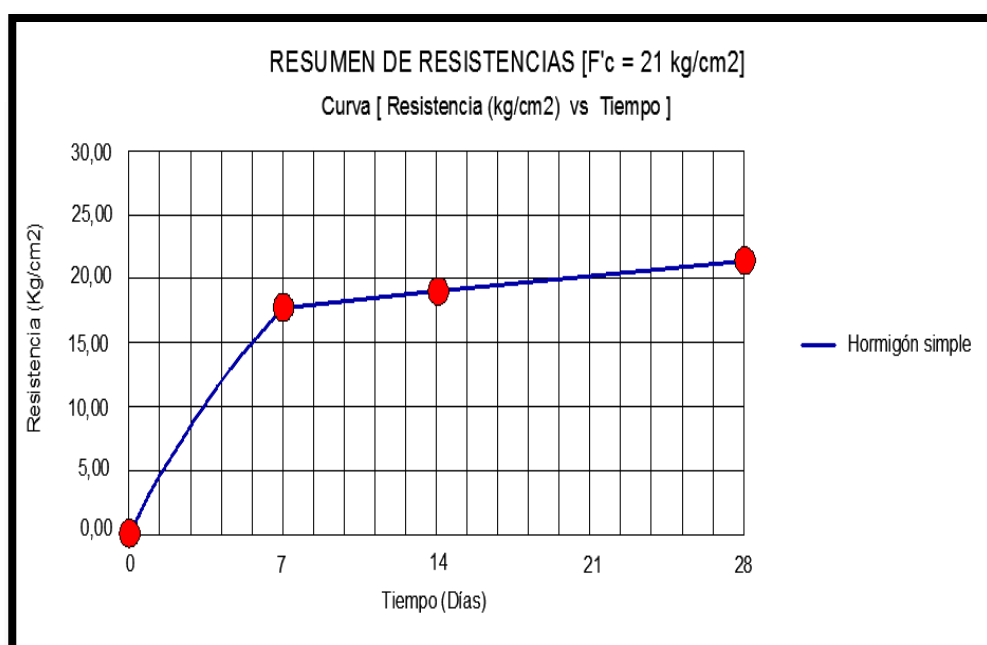
Fuente: Autores de la Investigación.

En ésta tabla de hormigón simple con edad de 28 días, se puede observar que se obtuvo un promedio de 21,15 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia y con un porcentaje de 100,71%, lo que significa que llega a la resistencia inicial 21kg/cm<sup>2</sup>.

**Tabla 3.57.** Resumen de Resistencias de los ensayos de flexo-tracción a vigas de hormigón simple

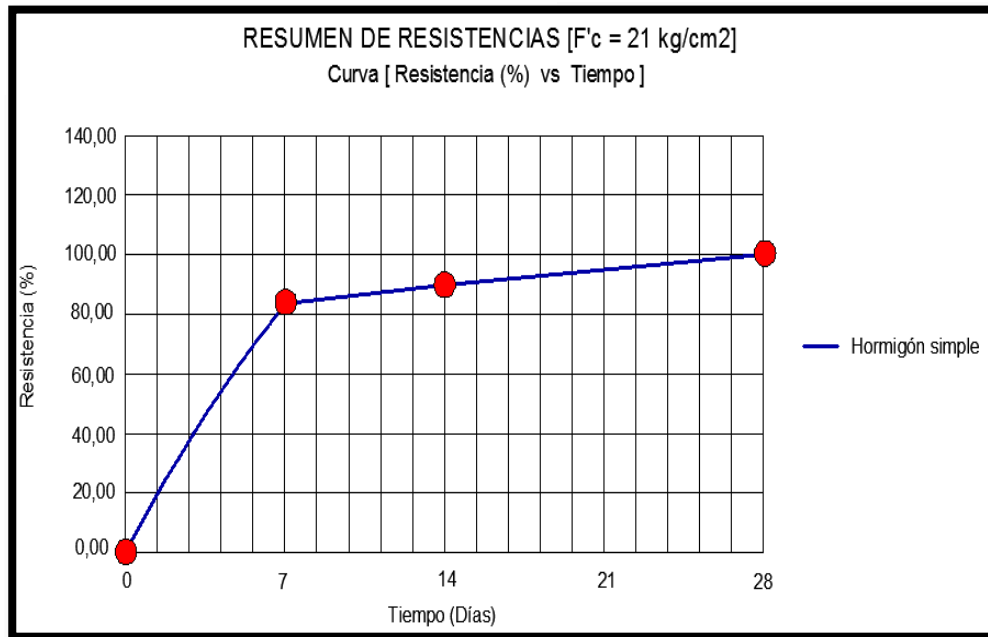
Hormigón simple		
Edad (Días)	Resistencias	
	(kg/cm <sup>2</sup> )	(%)
7	17,89	85,21
14	19,02	90,57
28	21,15	100,71

Fuente: Autores de la Investigación.



**Figura 3.32.** Resumen de resistencias de los ensayos de flexo-tracción a vigas de hormigón simple en la curva Resistencia Vs Tiempo. (Autores de la Investigación).

La resistencia promedio que se obtuvo durante los 7 primeros días de curado de hormigón corresponde a 17,89 kg/cm<sup>2</sup>, después en los 7 días posteriores es decir a los 14 días de curado del hormigón se obtuvo 19,02 kg/cm<sup>2</sup>, y ya en el día 28 alcanza la resistencia y un poquito más la cual es de 21,15 kg/cm<sup>2</sup>



**Figura 3.33.** Resumen de resistencias de los ensayos de flexo-tracción a vigas de hormigón simple en la curva de porcentaje Resistencia Vs Tiempo. (Autores de la Investigación).

Los porcentajes obtenidos durante todo el curado del hormigón se encuentran distribuidos en 3 valores, en los 7 primeros días se ha obtenido 85,21 %, más del 70 % de la resistencia requerida, por lo que se puede mencionar que va muy bien encaminado el diseño del hormigón, en los 14 días de curado de hormigón se tiene 90,57 % y en el último día se alcanza un 100,71%, es decir 0,71 % más de la resistencia elaborada.



UNIVERSIDAD LAICA "ELOY ALFARO DE MANABÍ"  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**ENSAYO DE FLEJO-TRACCIÓN A VIGAS**

Tabla 3.58. Resultados de los ensayos de flexo-tracción a vigas de hormigón simple + fibras de nylon a los 7 días de edad.

Descripción	Hormigón simple + Fibra de Nylon		
Diseño de Hormigón	210 kg/cm <sup>2</sup> (Nota: se utiliza el 10% de este valor para este ensayo)		
Nº de Muestra	1	2	3
Edad (Días)	7	7	7
Longitud (cm)	51	51	51
Ancho (cm)	10	10	10
Altura (cm)	10	10	10
Distancia entre apoyos (cm)	45	45	45
Carga Máxima (Kg)	555,235	530,014	557,309
Momento Máximo (kgcm)	24985,6	23850,6	25078,9
Módulo Resistente (cm <sup>3</sup> )	1000	1000	1000
Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	24,99	23,85	25,08
Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	24,64		
% de Resistencia	119,0	113,57	119,43
Promedio (%)	117,33		

Fuente: Autores de la Investigación.

En ésta tabla de hormigón simple + F. de Nylon con edad de 7 días, se puede observar que se obtuvo un promedio de 24,64 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia y con un 117,33%, alcanzando más de los 21 kg/cm<sup>2</sup> en los 7 primeros días.



### ENSAYO DE FLEXO-TRACCIÓN A VIGAS

Tabla 3.59. Resultados de los ensayos de flexo-tracción a vigas de hormigón simple + fibras de nylon a los 14 días de edad.

Descripción	Hormigón simple + Fibra de Nylon		
Diseño de Hormigón	210 kg/cm <sup>2</sup> (Nota: se utiliza el 10% de este valor para este ensayo)		
Nº de Muestra	1	2	3
Edad (Días)	14	14	14
Longitud (cm)	51	51	51
Ancho (cm)	10	10	10
Altura (cm)	10	10	10
Distancia entre apoyos (cm)	45	45	45
Carga Máxima (Kg)	553,910	591,605	597,350
Momento Máximo (kgcm)	24926,0	26622,2	26880,8
Módulo Resistente (cm <sup>3</sup> )	1000	1000	1000
Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	24,93	26,62	26,88
Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	26,14		
% de Resistencia	118,71	126,76	128,00
Promedio (%)	124,48		

Fuente: Autores de la Investigación.

En ésta tabla de hormigón simple + F. de Nylon con edad de 14 días, se puede observar que se obtuvo un promedio de 26,14 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia y con un porcentaje de 124,48%, subiendo 7% aproximadamente cada 7 días.



### ENSAYO DE FLEXO-TRACCIÓN A VIGAS

Tabla 3.60. Resultados de los ensayos de flexo-tracción a vigas de hormigón simple + fibras de nylon a los 28 días de edad.

Descripción	Hormigón simple + Fibra de Nylon		
Diseño de Hormigón	210 kg/cm <sup>2</sup> (Nota: se utiliza el 10% de este valor para este ensayo)		
Nº de Muestra	1	2	3
Edad (Días)	28	28	28
Longitud (cm)	51	51	51
Ancho (cm)	10	10	10
Altura (cm)	10	10	10
Distancia entre apoyos (cm)	45	45	45
Carga Máxima (Kg)	670,463	645,684	604,045
Momento Máximo (kgcm)	30170,8	29055,8	27182,0
Módulo Resistente (cm <sup>3</sup> )	1000	1000	1000
Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	30,17	29,06	27,18
Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	28,80		
% de Resistencia	143,66	138,38	129,43
Promedio (%)	137,14		

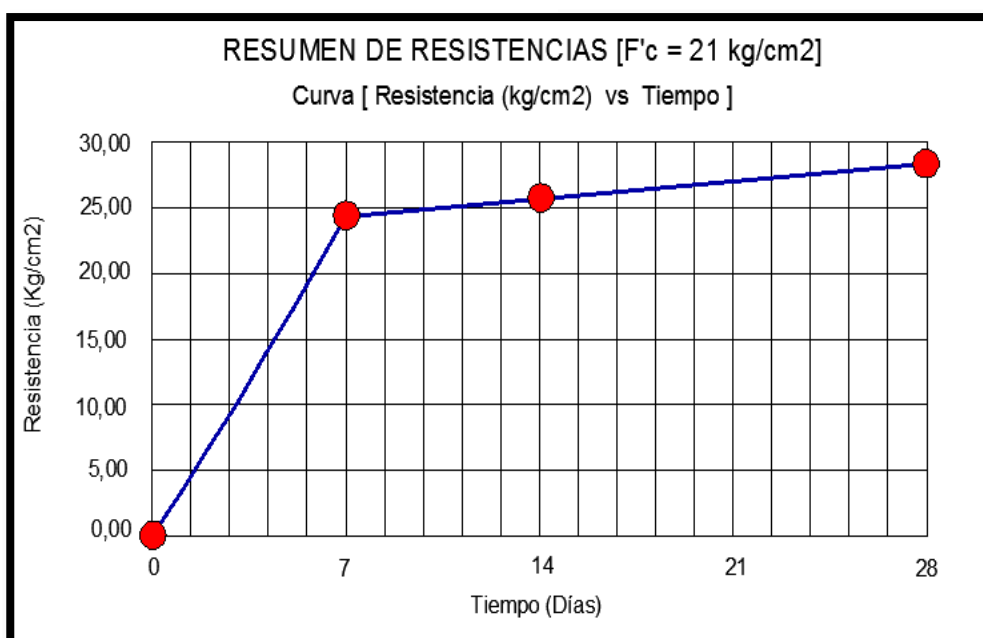
Fuente: Autores de la Investigación.

En ésta tabla de hormigón simple + F. de Nylon con edad de 28 días, se puede observar que se obtuvo un promedio de 28,80 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia y con un porcentaje de 137,14%, resultado muy interesante para el uso de esta fibra.

**Tabla 3.61.** Resumen de Resistencias de los ensayos de flexo-tracción a vigas de hormigón simple + fibras de nylon

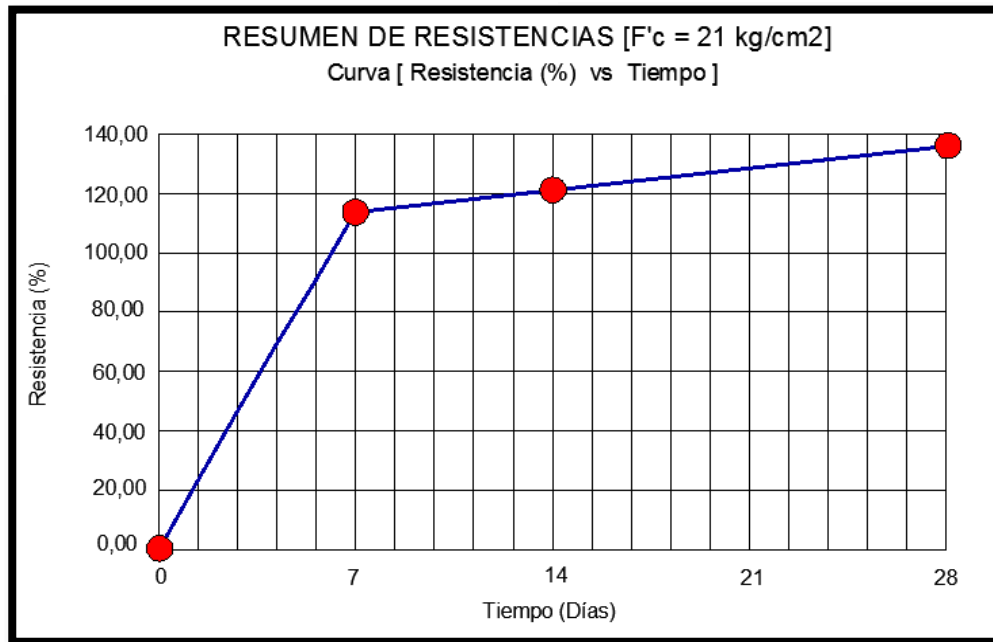
Hormigón simple + Fibra de Nylon		
Edad (Días)	Resistencias	
	(kg/cm <sup>2</sup> )	(%)
7	24,64	117,33
14	26,14	124,48
28	28,80	137,14

Fuente: Autores de la Investigación.



**Figura 3.34.** Resumen de resistencias de los ensayos de flexo-tracción a vigas de hormigón simple + fibras de nylon en la curva Resistencia Vs Tiempo. (Autores de la Investigación).

La resistencia promedio que se obtuvo durante los 7 primeros días de curado de hormigón corresponde a 24,64 kg/cm<sup>2</sup>, después en los 7 días posteriores es decir a los 14 días de curado del hormigón se obtuvo 26,14 kg/cm<sup>2</sup>, y ya en el día 28 alcanza la resistencia y un poquito más la cual es de 28,80 kg/cm<sup>2</sup>



**Figura 3.35.** Resumen de resistencias de los ensayos de flexo-tracción a vigas de hormigón simple + fibra de nylon en la curva de porcentaje Resistencia Vs Tiempo. (Autores de la Investigación).

Los porcentajes obtenidos durante todo el curado del hormigón se encuentran distribuidos en 3 valores, en los 7 primeros días se ha obtenido 117,33 %, alcanzando lo previsto y un poco más de 210 kg/cm<sup>2</sup> %, en los 14 días de curado de hormigón se tiene 125,48 % y en el último día se alcanza un 137,14 %, en el día 28 logra llegar a un 37,14 % más de la resistencia elaborada.





### ENSAYO DE FLEXO-TRACCIÓN A VIGAS

Tabla 3.62. Resultados de los ensayos de flexo-tracción a vigas de hormigón simple + fibras de polipropileno a los 7 días de edad.

Descripción	Hormigón simple + Fibra de Polipropileno		
Diseño de Hormigón	210 kg/cm <sup>2</sup> (Nota: se utiliza el 10% de este valor para este ensayo)		
Nº de Muestra	1	2	3
Edad (Días)	7	7	7
Longitud (cm)	51	51	51
Ancho (cm)	10	10	10
Altura (cm)	10	10	10
Distancia entre apoyos (cm)	45	45	45
Carga Máxima (Kg)	456,323	455,400	436,030
Momento Máximo (kgcm)	20534,5	20493,0	19621,4
Módulo Resistente (cm <sup>3</sup> )	1000	1000	1000
Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	20,53	20,49	19,62
Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	20,21		
% de Resistencia	97,76	97,57	93,43
Promedio (%)	96,24		

Fuente: Autores de la Investigación.

En ésta tabla de hormigón simple + F. de Polipropileno con edad de 7 días, se puede observar que se obtuvo un promedio de 20,21 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia y con un porcentaje de 96,24%, aun no alcanzando la resistencia de 21 kg/cm<sup>2</sup>.



UNIVERSIDAD LAICA "ELOY ALFARO DE MANABÍ"  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**ENSAYO DE FLEXO-TRACCIÓN A VIGAS**

Tabla 3.63. Resultados de los ensayos de flexo-tracción a vigas de hormigón simple + fibras de polipropileno a los 14 días de edad.

Descripción	Hormigón simple + Fibra de Polipropileno		
Diseño de Hormigón	210 kg/cm <sup>2</sup> (Nota: se utiliza el 10% de este valor para este ensayo)		
Nº de Muestra	1	2	3
Edad (Días)	14	14	14
Longitud (cm)	51	51	51
Ancho (cm)	10	10	10
Altura (cm)	10	10	10
Distancia entre apoyos (cm)	45	45	45
Carga Máxima (Kg)	474,930	461,036	491,605
Momento Máximo (kgcm)	21371,9	20746,6	22122,2
Módulo Resistente (cm <sup>3</sup> )	1000	1000	1000
Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	21,37	20,75	22,12
Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	21,41		
% de Resistencia	101,76	98,81	105,33
Promedio (%)	101,97		

Fuente: Autores de la Investigación.

En ésta tabla de hormigón simple + F. de Polipropileno con edad de 14 días, se puede observar que se obtuvo un promedio de 21,41kg/cm<sup>2</sup> de resistencia y con un porcentaje de 101,97%, alcanzando recién la resistencia de +21 kg/cm<sup>2</sup>.



UNIVERSIDAD LAICA "ELOY ALFARO DE MANABÍ"  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**ENSAYO DE FLEXO-TRACCIÓN A VIGAS**

Tabla 3.64. . Resultados de los ensayos de flexo-tracción a vigas de hormigón simple + fibras de polipropileno a los 28 días de edad.

Descripción	Hormigón simple + Fibra de Polipropileno		
Diseño de Hormigón	210 kg/cm <sup>2</sup> (Nota: se utiliza el 10% de este valor para este ensayo)		
Nº de Muestra	1	2	3
Edad (Días)	28	28	28
Longitud (cm)	51	51	51
Ancho (cm)	10	10	10
Altura (cm)	10	10	10
Distancia entre apoyos (cm)	45	45	45
Carga Máxima (Kg)	527,070	515,400	501,038
Momento Máximo (kgcm)	23718,2	23193,0	22546,7
Módulo Resistente (cm <sup>3</sup> )	1000	1000	1000
Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	23,72	23,19	22,55
Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	23,15		
% de Resistencia	112,95	110,43	107,38
Promedio (%)	110,24		

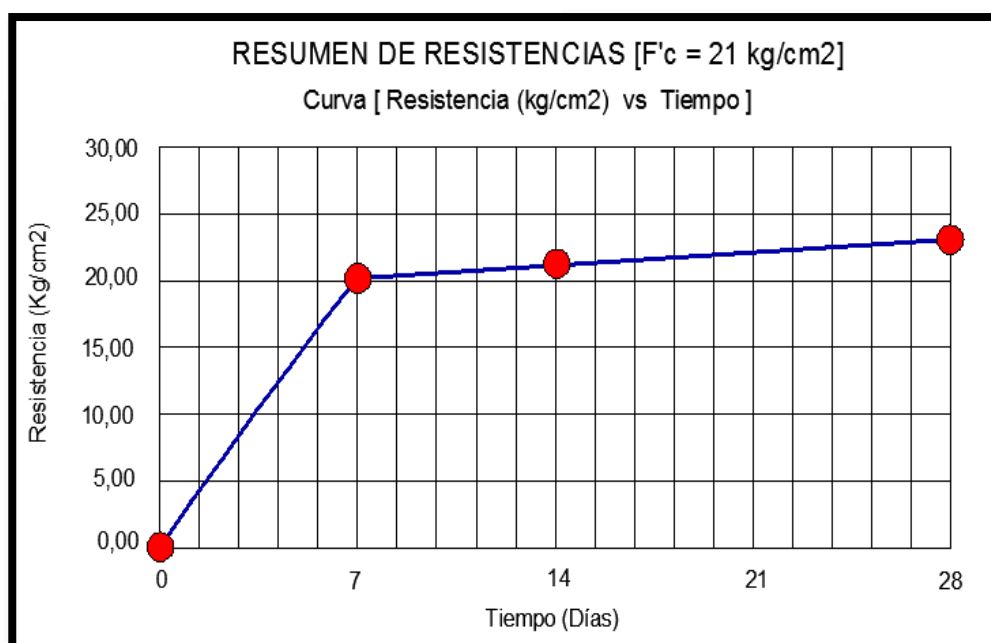
Fuente: Autores de la Investigación.

En ésta tabla de hormigón simple + F. de Polipropileno con edad de 28 días, se puede observar que se obtuvo un promedio de 23,15 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia y con un porcentaje de 110,24%, donde no es muy eficiente esta fibra para vigas.

**Tabla 3.65.** Resumen de Resistencias de los ensayos de flexo-tracción a vigas de hormigón simple + fibras de polipropileno

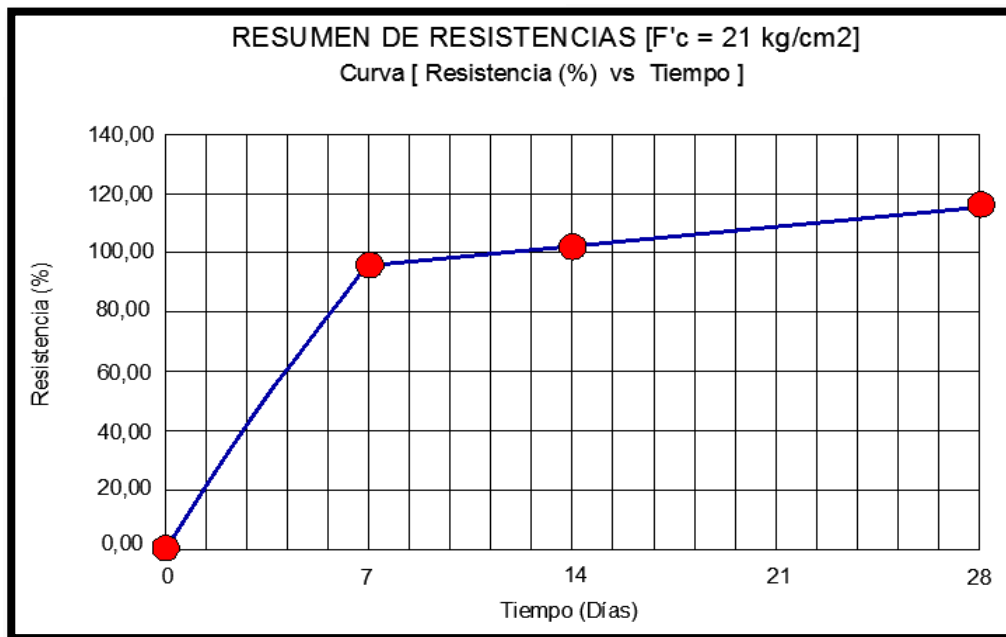
Hormigón simple + Fibra de Polipropileno		
Edad (Días)	Resistencias	
	(kg/cm <sup>2</sup> )	(%)
7	20,21	96,24
14	21,41	101,97
28	23,15	110,24

Fuente: Autores de la Investigación.



**Figura 3.36.** Resumen de resistencias de los ensayos de flexo-tracción a vigas de hormigón simple + fibras de polipropileno en la curva Resistencia Vs Tiempo. (Autores de la Investigación).

La resistencia promedio que se obtuvo durante los 7 primeros días de curado de hormigón corresponde a 20,21 kg/cm<sup>2</sup>, después en los 7 días posteriores es decir a los 14 días de curado del hormigón se obtuvo 21,41 kg/cm<sup>2</sup>, y ya en el día 28 alcanza la resistencia y un poquito más la cual es de 23,15 kg/cm<sup>2</sup>



**Figura 3.37.** Resumen de resistencias de los ensayos de flexo-tracción a vigas de hormigón simple + fibra de nylon en la curva de porcentaje Resistencia Vs Tiempo. (Autores de la Investigación).

Los porcentajes obtenidos durante todo el curado del hormigón se encuentran distribuidos en 3 valores, en los 7 primeros días se ha obtenido 96,24 %, en los 14 días de curado de hormigón se tiene 101,97 % y en el último día se alcanza un 110,24 %, en el día 28 logra llegar a un 10,24 % más de la resistencia elaborada.

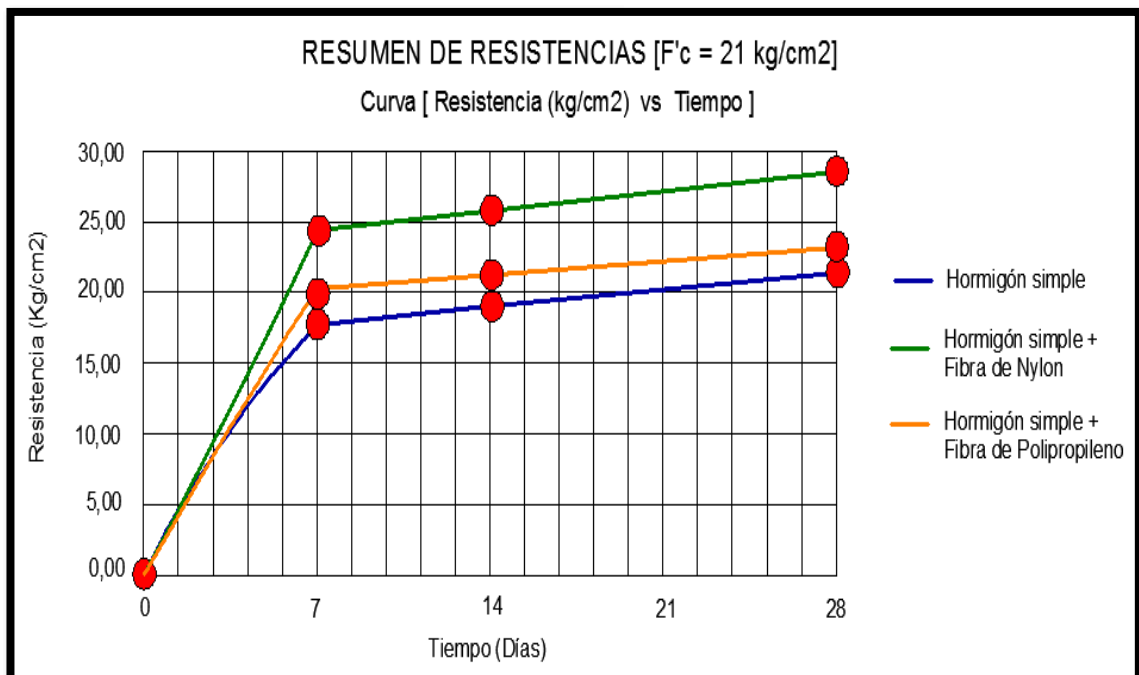
### 3.1.2. Resumen de Resultados de las vigas sometidas a ensayos de flexo-tracción

A continuación en el siguiente cuadro se resumirá las resistencias obtenidas en los ensayos de Flexo-tracción realizados a las vigas de hormigón simple, hormigón simple + fibra de nylon y hormigón simple + fibra de polipropileno.

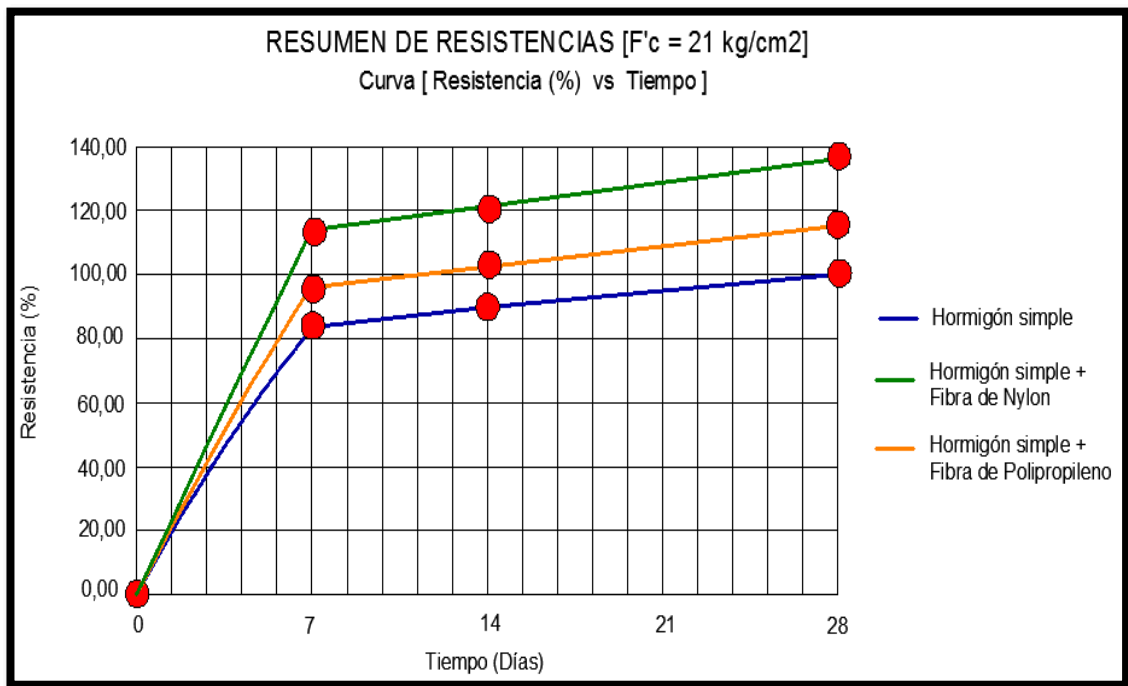
**Tabla 3.66.** Resumen de las resistencia a flexo-tracción de los diferentes tipos de vigas con sus respectivas fibras.

Edad	Resistencias					
	H. simple		H. simple + Fibra de Nylon		H. simple + Fibra de Polipropileno	
(Dias)	(kg/cm <sup>2</sup> )	(%)	(kg/cm <sup>2</sup> )	(%)	(kg/cm <sup>2</sup> )	(%)
7	17,89	85,21	24,64	117,33	20,21	96,24
14	19,02	90,57	26,14	124,48	21,41	101,97
28	21,15	100,71	28,80	137,14	23,15	110,24
Aumento de:	0,71 %		37,14 %		10,24 %	

Fuente: Autores de la Investigación.



**Figura 3.38.** Resumen de las resistencia a flexo-tracción de los diferentes tipos de vigas con sus respectivas fibras en la curva Resistencia Vs Tiempo. (Autores de la Investigación).

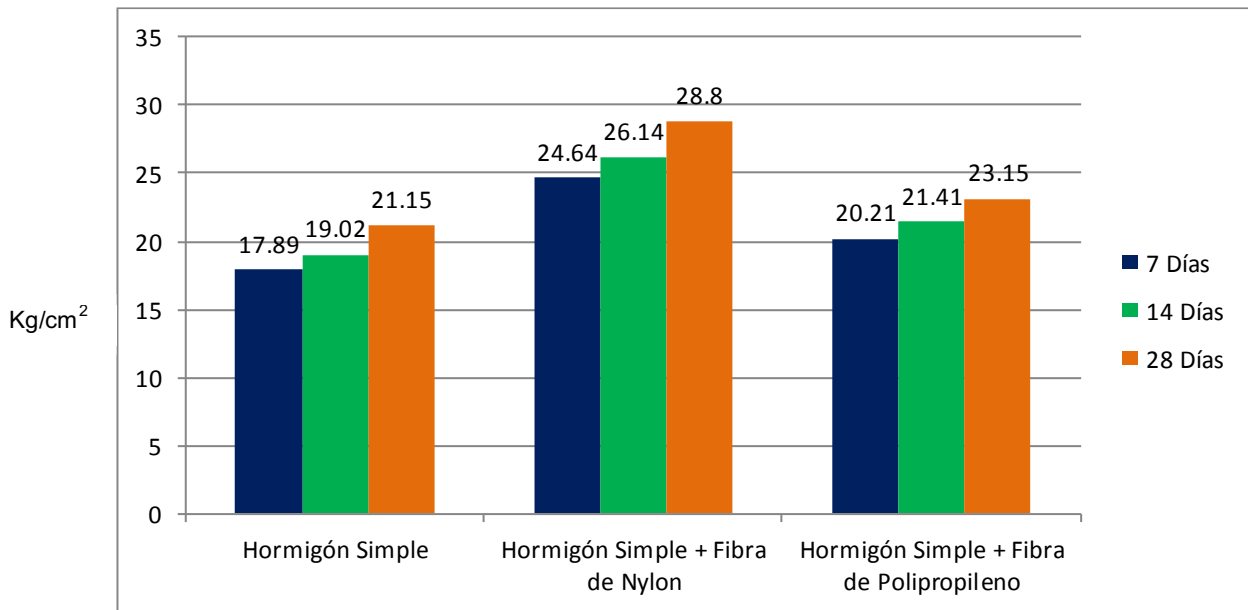


**Figura 3.39.** Resumen de las resistencia a flexo-tracción de los diferentes tipos de vigas con sus respectivas fibras en la curva porcentaje Resistencia Vs Tiempo. (Autores de la Investigación).

La tabla indica que ambos hormigones con fibras a los 28 días sobrepasan la resistencia requerida en el diseño, sin embargo el hormigón con fibra de nylon alcanza una mayor resistencia correspondiente a 28.80 Kg/cm<sup>2</sup> y 137.14% de porcentaje de resistencia, en comparación de la fibra de polipropileno que es de 23.15 Kg/cm<sup>2</sup> y 110.24% de porcentaje de resistencia

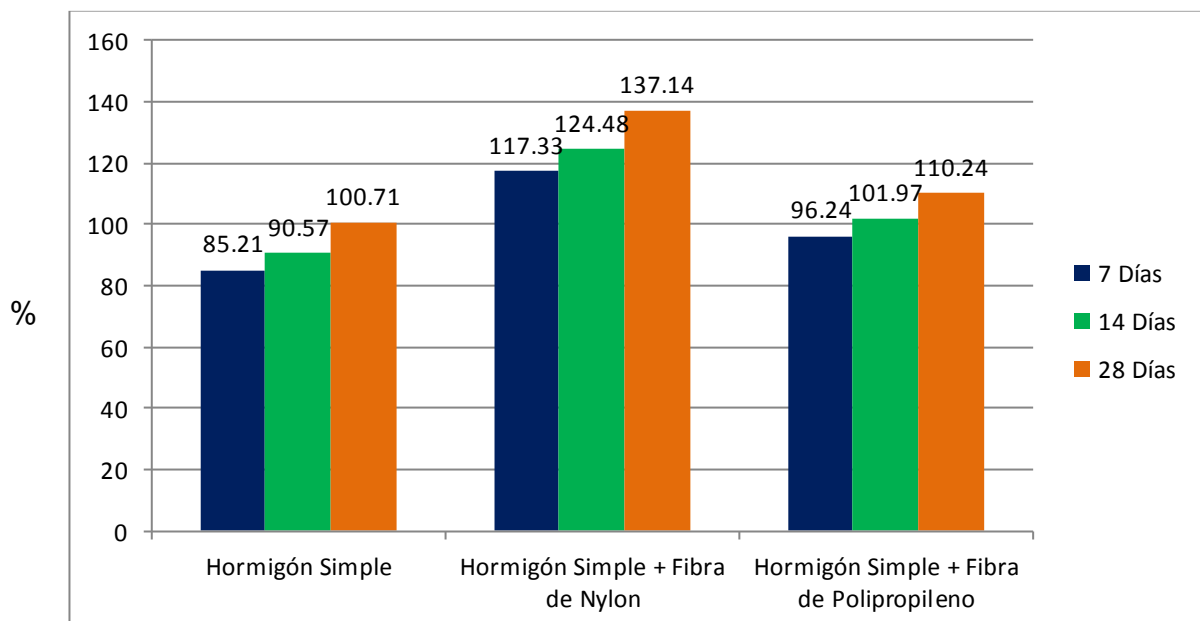
Por otro lado, se puede mencionar que el hormigón con fibra de nylon alcanza y supera desde los 7 días la resistencia y porcentaje del diseño de hormigón requerido con 24.64 Kg/cm<sup>2</sup> y 117.33% porcentaje de resistencia; mientras que el hormigón con fibra de polipropileno recién a los 14 días alcanza la resistencia requerida con 21.41 Kg/cm<sup>2</sup> y 101.97% porcentaje de resistencia.

A continuación se muestra un cuadro estadístico de las resistencias que se obtuvieron en el ensayo a flexo-tracción del hormigón simple, con fibra de nylon y polipropileno durante los 7, 14 y 28 días.



**Figura 3.40.** Cuadro estadístico de resistencias del ensayo de flexo-tracción de los diferentes especímenes. . (Autores de la Investigación).

A continuación se muestra un cuadro estadístico del porcentaje de resistencias que se obtuvieron en el ensayo a flexo-tracción del hormigón simple, con fibra de nylon y polipropileno durante los 7, 14 y 28 días.



**Figura 3.41.** Cuadro estadístico de porcentaje de resistencias del ensayo de flexo-tracción de los diferentes especímenes. . (Autores de la Investigación).



## CONCLUSIONES:

- Los ensayos realizados al agregado fino y grueso, como granulometría, módulo de finura, % de absorción y % de humedad, se encuentran dentro de los límites permisibles que recomiendan las especificaciones del ACI para la elaboración de un hormigón de  $210 \text{ kg/cm}^2$ .
- El ensayo de compresión realizado a las probetas de hormigón después de los 28 días de curado dieron como resultado un incremento del 15,82 % de resistencia en la fibra de nylon, mientras que en la fibra de polipropileno existe un aumento del 31,43 % de resistencia.
- El ensayo de tracción realizado a las vigas de hormigón después de los 28 días de curado dieron como resultado un incremento del 37,14 % de resistencia en la fibra de nylon, mientras que en la fibra de polipropileno existe un aumento del 10,24 % de resistencia.
- Las fibras de nylon y polipropileno producen un aumento notable a la resistencia del hormigón simple; la fibra de nylon proporciona mayor resistencia que la fibra de polipropileno en el ensayo de tracción realizada a las vigas de hormigón, mientras que la fibra de polipropileno proporciona mayor resistencia que la fibra de nylon en el ensayo de compresión realizada a los cilindros de hormigón.
- A los 7 días de haber elaborado y curado el hormigón, los 2 tipos de fibras que se utilizaron como agregado, alcanzaron la resistencia con la que se diseñó el hormigón, en el caso de la fibra de nylon alcanzó la resistencia requerida en el ensayo de tracción, y la fibra de polipropileno en el ensayo de compresión.

## **RECOMENDACIONES:**

- La fibra de polipropileno y nylon pueden ser utilizadas en diferentes tipos de estructuras de hormigón. Se recomienda utilizar la fibra de nylon para elementos estructurales sometidos a flexión tales como: vigas, losas y carreteras, y la fibra de polipropileno es recomendada para elementos estructurales sometidos a compresión tales como: columnas de hormigón.
- Para contar con mayor información sobre los beneficios que brindan estas fibras en la industria de la construcción, se debe continuar realizando estos estudios en la Facultad de Ingeniería, en la Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, ya que estos resultados de investigación servirán de base para otras investigaciones relacionadas al mismo tema.
- Para posteriores investigaciones se plantea aumentar la dosificación de la fibra de nylon y polipropileno, con la finalidad de conocer como dicho incremento actuaría en la resistencia del hormigón; así como también evaluar otros tipos de fibras que existen en el mercado de la construcción.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alegre, S., & Lechuga, S. A. (2014). Permeabilidad del hormigón a los gases y líquidos. Nuevo método de determinación. *CABI*, 3.
- Barros Fierro, V. P., & Ramirez Cueva, H. C. (19 de Noviembre de 2012). *Repositorio Digital de la Universidad Central del Ecuador*. Obtenido de [www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/517/1/T-UCE-0011-21.pdf](http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/517/1/T-UCE-0011-21.pdf)
- Camaniero, R. (2006). *Dosificación de Mezclas*. Quito.
- Conrado Diaz, M. B., & Rojas Santiago, J. A. (19 de Noviembre de 2012). *Repositorio de Universidad Central del Ecuador*. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec:8080/bitstream/25000/512/1/T-UCE-0011-22.pdf>
- Davila Mercado, M. P. (S/D de Marzo de 2010). *Repositorio*. Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3441/davilamercado.pdf?sequence=1>
- González Salcedo, L. O. (S/D de Enero de 2008). *Sitio virtual*. Obtenido de <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/palmira/materiales/pdf/cap6/amplia/conceptos%20generales%20agregados.pdf>
- ICCYC. (S/A). Concreto. *Noticias del concreto*, 1.
- IMCYC. (2007). Concreto reforzado con fibras. *Revista de Instituto mexicano del cemento y del concreto*, 71.
- Mendoza, C. J., & Davila, P. (S/D de Junio de 2011). *IMCYC*. Obtenido de [http://imcyc.com/ccid/pdf/ene-jun11\\_3.pdf](http://imcyc.com/ccid/pdf/ene-jun11_3.pdf)
- Merlin, L. (2002). Dosificar y preparar mortero y hormigón. *Lero y Merlin*, 6.
- Millán Castillo, M. F. (S/D de Ambato de 2013). *Repositorio de Universidad Técnica de Ambato*. Obtenido de <http://repo.uta.edu.ec/bitstream/handle/123456789/6029/Tesis%20744%20-%20Mill%C3%A1n%20Castillo%20Mar%C3%ADa%20Fernanda%20.pdf?sequence=1>

NRMCA. (12 de Febrero de 2013). *National Ready Mixed Concrete Association*.

Obtenido de file:///C:/Users/Usuario/Downloads/VIGA%20FLE.pdf

NRMCA. (12 de Febrero de 2013). *National Ready Mixed Concrete Association*.

Obtenido de <http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/cip1es.pdf>

Riviera L, G. A. (10 de Febrero de 2012). *UNICAUCA*. Obtenido de

[ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/gearnilo/docs/FIC%20y%20GEOTEC%](ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/gearnilo/docs/FIC%20y%20GEOTEC%20SEM%202%20de%202010/Tecnologia%20del%20Concreto%20-%20%20PDF%20ver.%20%202009/Cap.%2003%20-%20Agua%20de%20mezcla.pdf)

[20SEM%202%20de%202010/Tecnologia%20del%20Concreto%20-](ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/gearnilo/docs/FIC%20y%20GEOTEC%20SEM%202%20de%202010/Tecnologia%20del%20Concreto%20-%20%20PDF%20ver.%20%202009/Cap.%2003%20-%20Agua%20de%20mezcla.pdf)

[%20%20PDF%20ver.%20%202009/Cap.%2003%20-](ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/gearnilo/docs/FIC%20y%20GEOTEC%20SEM%202%20de%202010/Tecnologia%20del%20Concreto%20-%20%20PDF%20ver.%20%202009/Cap.%2003%20-%20Agua%20de%20mezcla.pdf)

[%20Agua%20de%20mezcla.pdf](ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/gearnilo/docs/FIC%20y%20GEOTEC%20SEM%202%20de%202010/Tecnologia%20del%20Concreto%20-%20%20PDF%20ver.%20%202009/Cap.%2003%20-%20Agua%20de%20mezcla.pdf)

Rodriguez, F. C. (S/D de Junio de 2013). *Tesis digitales*. Obtenido de

[http://oa.upm.es/19974/1/Tesis\\_master\\_Luis\\_Fernando\\_Camargo\\_Rodri](http://oa.upm.es/19974/1/Tesis_master_Luis_Fernando_Camargo_Rodriguez.pdf)

[guez.pdf](http://oa.upm.es/19974/1/Tesis_master_Luis_Fernando_Camargo_Rodriguez.pdf)

## ANEXOS



Agregado grueso a utilizar para el ensayo de granulometría.



Realizando el ensayo de granulometría al agregado fino.



Realizando el ensayo de densidad compactada al agregado fino.



Pesando el agregado grueso para el ensayo de densidad compactada.



Selección del agregado grueso para realizar el ensayo de absorción.



Secando el agregado fino, para el ensayo de absorción.



Horno para secar las muestras de agregado fino y grueso en el ensayo de humedad.



Elaboración de encofrados para las vigas.





Engrasando el encofrado de viga.



Engrasando los cilindros.



Fibras a utilizar en la elaboración del hormigón.



Mezclando las fibras con el hormigón.



Vertiendo el hormigón más la fibra en los encofrados de vigas.



Realizando los 25 golpes a cada capa de hormigón en el encofrado de vigas.



Realizando los 25 golpes a cada capa en los cilindros.



Cilindros y vigas desmoldadas



Curado de los cilindros y vigas de hormigón.



Puesta de cilindros en la máquina de ensayos a compresión.



Cilindro puesto en la máquina.



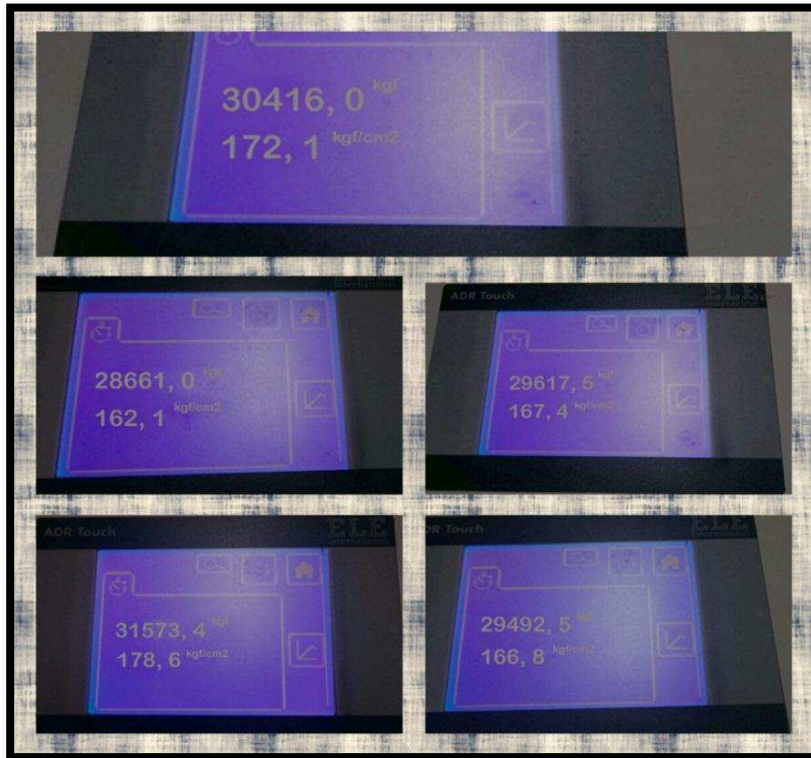
Ruptura de la viga dentro del tercio medio.



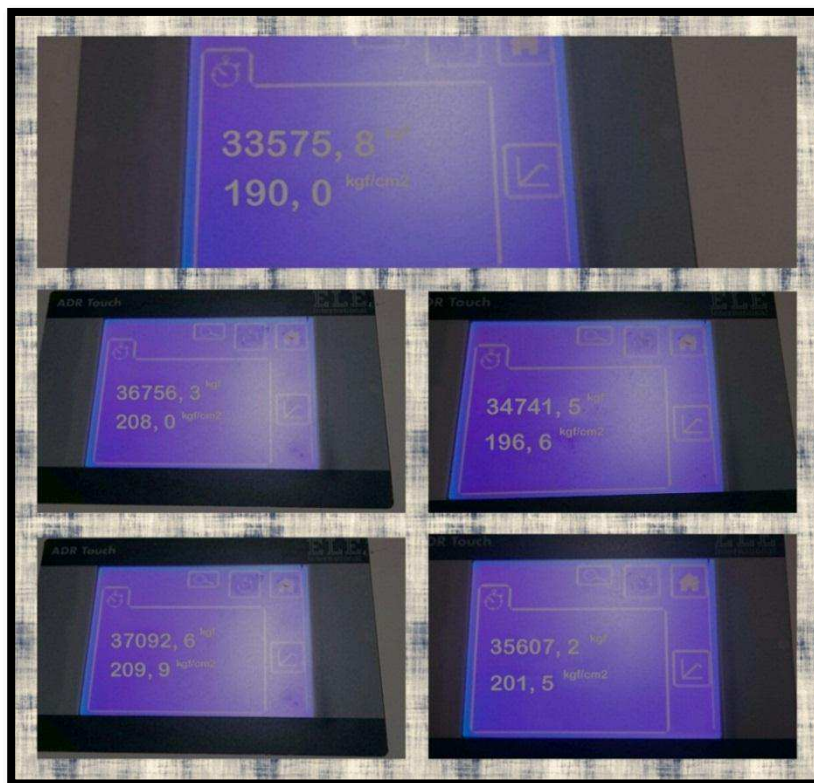
Cilindro de hormigón ensayado a compresión.



Viga de hormigón ensayada a flexo-tracción

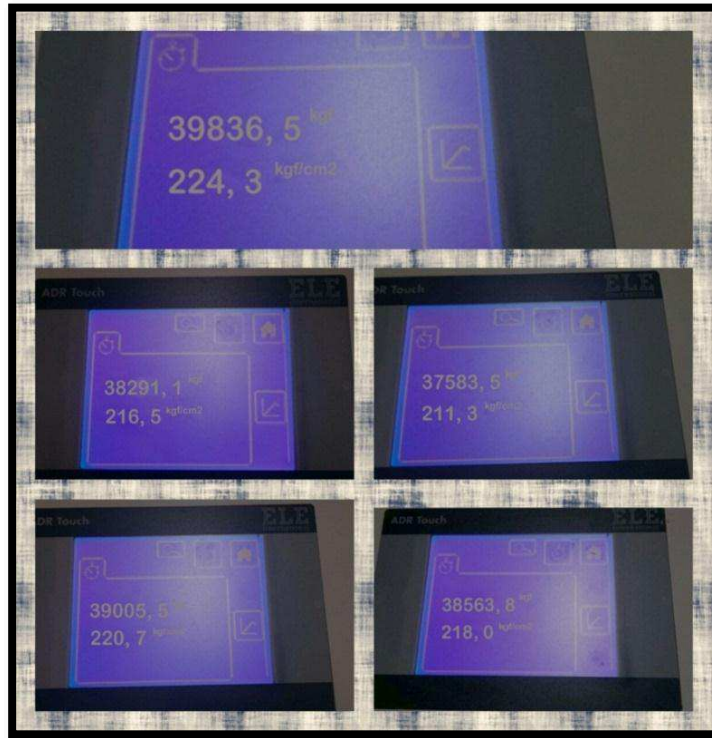


Resistencias a la compresión de hormigón simple a los 7 días.



Resistencias a la compresión de hormigón simple a los 14 días.

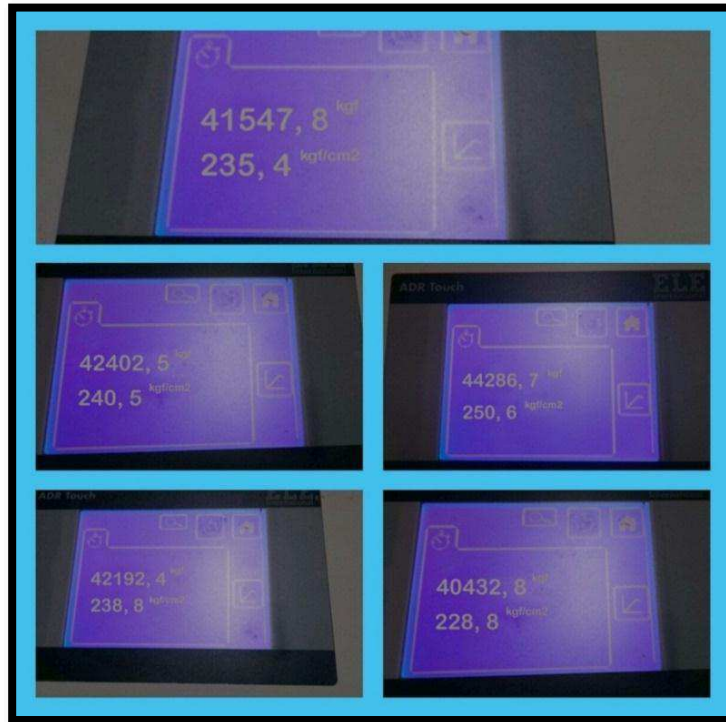




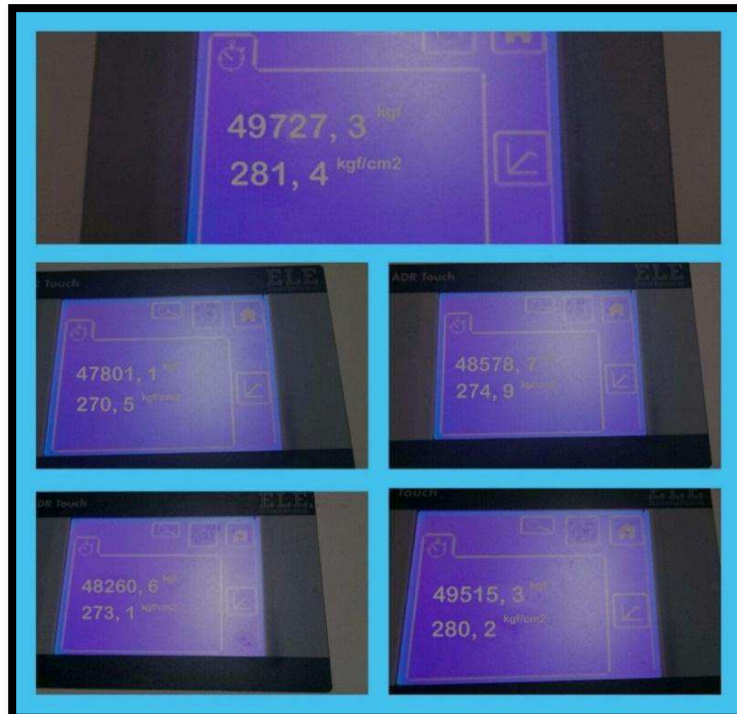
Resistencia a la compresión de hormigón simple a los 28 días.



Resistencia a la compresión de hormigón simple + fibra de Polipropileno a los 7 días.



Resistencia a la compresión de hormigón simple + fibra de Polipropileno a los 14 días.



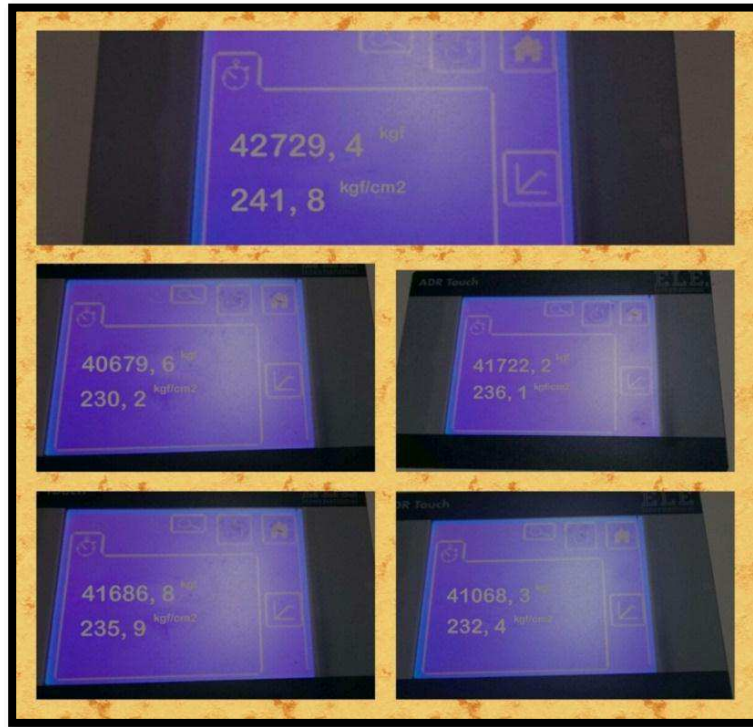
Resistencia a la compresión de hormigón simple + fibra de Polipropileno a los 28 días.



Resistencia a la compresión de hormigón simple + fibra de Nylon a los 7 días.



Resistencia a la compresión de hormigón simple + fibra de Nylon a los 14 días.



Resistencia a la compresión de hormigón simple + fibra de Nylon a los 28 días.

Tipo de muestra	Raso
Unidades	Metrico
Carga Maxima	645.684 kgf
Ritmo	19.986 kgf/sec
Altura de la muestra	10.000 cm
Ancho de muestra	10.000 cm
Largo de la muestra	50.000 cm
Separacion	Tercer Punto 45.000 cm

Resultados obtenidos en el ensayo de flexo- tracción

Tipo de muestra	Raso
Unidades	Metrico
Carga Maxima	435.465 kgf
Ritmo	19.986 kgf/sec
Altura de la muestra	10.000 cm
Ancho de muestra	10.000 cm
Largo de la muestra	50.000 cm
Separacion	Tercer Punto 45.000 cm

Resultados obtenidos en el ensayo de flexo- tracción

Tipo de muestra	Raso
Unidades	Métricas
Carga Maxima	678,463 kgf
Ritmo	19,996 kgf/seg
Altura de la muestra	10,000 cm
Ancho de muestra	10,000 cm
Largo de la muestra	50,000 cm
Separacion	Tercer Punto 45,000 cm

Resultados obtenidos en el ensayo de flexo- tracción

Tipo de muestra	Raso
Unidades	Métricas
Carga Maxima	456,375 kgf
Ritmo	19,996 kgf/seg
Altura de la muestra	10,000 cm
Ancho de muestra	10,000 cm
Largo de la muestra	50,000 cm
Separacion	Tercer Punto 45,000 cm

Resultados obtenidos en el ensayo de flexo- tracción.

Ref muestra	000001
Tipo de muestra	Raso
Unidades	Métricas
Carga Maxima	500,000 kgf
Ritmo	19,996 kgf/seg
Altura de la muestra	10,000 cm
Ancho de muestra	10,000 cm
Largo de la muestra	50,000 cm
Separacion	Tercer Punto 45,000 cm

Resultados obtenidos en el ensayo de flexo-tracción.