



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

**SEDE AZOGUES**

**INFORME FINAL DEL PROYECTO PROFESIONAL DE GRADO**

**PREVIO A LA OBTENCION DEL GRADO ACADÉMICO DE**

**INGENIERO CIVIL**

**TEMA:**

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE UN  
HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO EN LA CIUDAD DE  
AZOGUES, PROVINCIA DEL CAÑAR

**AUTOR:**

JAIME LUCIANO ROJAS CRUZ

**TUTOR:**

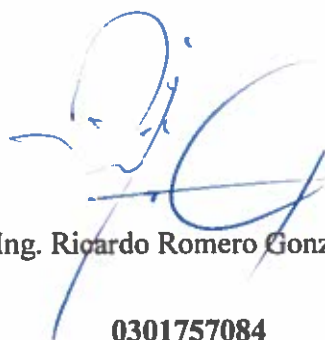
ING. RICARDO ROMERO GONZÁLEZ

### **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de tutor del trabajo de grado, presentado por el Sr. **Jaime Luciano Rojas Cruz** para optar por el título de **INGENIERO CIVIL**, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Azogues, a los 18 del mes de abril del 2018.

Firma:



**Ing. Ricardo Romero González**

**0301757084**

### **CERTIFICADO DE AUTORIA**

El presente trabajo investigativo de proyecto profesional de grado previo a la obtención del título de INGENIERO CIVIL, cuyo tema es: **“Evaluación de las Propiedades Físicas y Mecánicas de un Hormigón Reforzado con Fibras de Acero en la Ciudad de Azogues, Provincia del Cañar”** corresponden al trabajo de investigación del autor, además certifico que he cumplido con todas las observaciones realizadas por el tribunal evaluador.

Estudiante:



Jaime Luciano Rojas Cruz

1714254081

## **AGRADECIMIENTO**

A mis queridos padres, que son fuente de inspiración y motivación para alcanzar mis metas, gracias por el infinito amor, paciencia y apoyo que me brindan día a día, por la confianza que depositan en mí, por enseñarme a perseguir mis sueños sin importar nada y superarme ante las adversidades de la vida.

A mis hermanos, que me han demostrado cariño, confianza y lealtad en su máxima expresión, por siempre estar en los buenos y malos momentos, gracias por los consejos y por el sustento que me brindan de manera desinteresada con amor incondicional.

A mis familiares y amigos, quienes de forma directa o indirecta han incidido de manera positiva para la realización de este trabajo de titulación.

Al Ing. Jorge Crespo, asesor del trabajo de titulación, por su valiosa guía y asesoramiento en la realización del mismo.

Al Sr. Pablo Sáenz, auxiliar en el laboratorio de la Facultad, por su inestimable apoyo en la realización de la parte práctica del trabajo de titulación.

## **DEDICATORIA**

A mis padres, hermanos, amigos y familiares, a todos aquellos quienes ocupan un lugar especial e importante en mi mente y en mi corazón, puesto que, gracias a su amor, cariño, apoyo, confianza, aliento, consejo y mucho más, han sido las razones fundamentales para llegar a cumplir esta anhelada meta.

## RESUMEN

La industria de la construcción se encuentra en constante evolución, la necesidad por construir estructuras más resistentes y con vidas de servicio más prolongadas ha generado que en las últimas décadas se opte por el uso de nuevas técnicas de diseño del hormigón. Surgiendo así, entre una de estas técnicas, el hormigón reforzado con fibras de acero.

El presente trabajo de titulación tiene por objeto evaluar las propiedades físicas y mecánicas de un hormigón reforzado con fibras de acero en la ciudad de Azogues, Provincia del Cañar, ya que la implementación de dichas fibras mejoran las propiedades de los hormigones brindando altas resistencias a la tracción, al impacto y al agrietamiento, una gran ductilidad, tenacidad, durabilidad, entre otras, además de ser una solución de refuerzo rápida y económica debido al ahorro en materiales y mano de obra.

Se llevan a cabo ensayos en los agregados gruesos y finos obtenidos de la mina de Santa Isabel, con el que posteriormente se realizan los diseños de hormigones respectivos, los cuales serán sometidos a ensayos de compresión, tracción y flexión utilizando muestras de hormigón con y sin fibras de acero, los resultados serán evaluados de tal manera que nos den una idea clara y precisa de la influencia de las fibras de acero en el hormigón. Adicionalmente el presente estudio se basa en las normas ASTM, ACI e INEN.

**Palabras claves:** Hormigón reforzado con fibras de acero, Propiedades físicas y mecánicas del hormigón, ensayo de compresión, ensayo de tracción, ensayo de flexión.



## CENTRO DE IDIOMAS

### ABSTRACT

The construction industry is constantly evolving, the need to build more resistant structures and longer service lives. Lately, it has led to the use of new concrete design techniques. So, emerging this way, between one of these techniques the concrete reinforced with steel fibers.

The aim of the present research is to evaluate the physical and mechanical properties of a steel reinforced concrete in Azogues city, Cañar Province, since the implementation of these fibers improves the properties of the concrete providing high resistance to the traction, impact and cracking, great ductility, tenacity, durability and much more. Additionally, it is a quick and economic reinforcement solution.

Tests were carried out on the coarse and fine aggregates obtained from the Santa Isabel mine with which the respective concrete designs are subsequently made, which will be subjected to compression, tensile and flexural tests using concrete samples with and without steel fibers. The results were evaluated to give a clear and precise idea of the influence of steel fibers in concrete. In addition, the present study is based on the ASTM, ACI and INEN standards.

**Keywords:** concrete reinforced with steel fibers, physical and mechanical properties of concrete, compression test, tensile test, flexural test.

Azogues, 27 de febrero de 2018

EL CENTRO DE IDIOMAS DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA SEDE AZOGUES, CERTIFICA QUE EL DOCUMENTO QUE ANTECEDE FUE TRADUCIDO POR PERSONAL DEL CENTRO PARA LO CUAL DOY FE Y SUSCRIBO.

  
LCDA. GABRIELA ESTRELLA G. MST.  
COORDINATOR



## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN .....	1
OBJETIVOS .....	3
Objetivo General:.....	3
Objetivos Específicos: .....	3
CAPITULO I .....	4
1  MARCO TEÓRICO.....	4
1.1  Antecedentes de Investigación: .....	4
1.2  Definiciones y Conceptos Básicos: .....	4
1.2.1  FIBRAS.....	4
1.2.2  CLASIFICACIÓN DE LAS FIBRAS .....	5
1.2.3  FIBRAS DE ACERO.....	5
1.2.4  CARACTERÍSTICAS DE LAS FIBRAS DE ACERO .....	6
1.2.5  FORMA Y SECCIÓN DE LA FIBRA DE ACERO .....	6
1.2.6  HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRAS (HRF).....	7
1.2.7  HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO (HRFA).....	7
1.2.8  COMPONENTES DEL HRFA.....	9
1.2.8.1  Cemento.....	9
1.2.8.2  Agua.....	9
1.2.8.3  Aditivos .....	10
1.2.8.4  Áridos .....	10

1.2.8.5	Fibras de acero para HRFA .....	11
1.2.9	Orientación de las fibras en el HRFA .....	11
1.2.10	AGREGADOS .....	12
1.2.11	PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS FINOS .....	13
1.2.11.1	Granulometría .....	13
1.2.11.2	Módulo de Finura .....	13
1.2.11.3	Densidad Relativa .....	14
1.2.11.4	Contenido de Humedad .....	14
1.2.11.5	Peso Volumétrico .....	15
1.2.12	PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS GRUESOS .....	15
1.2.12.1	Granulometría .....	15
1.2.12.2	Tamaño Nominal Máximo TNM .....	16
1.2.12.3	Densidad Relativa .....	16
1.2.13	HORMIGÓN .....	16
1.2.14	CALIDAD DEL HORMIGÓN .....	17
1.2.15	PROPIEDADES MECÁNICAS DEL HORMIGÓN FRESCO .....	18
1.2.15.1	Consistencia .....	18
1.2.15.2	Docilidad .....	18
1.2.15.3	Homogeneidad .....	18
1.2.15.4	Peso Específico .....	19
1.2.16	PROPIEDADES MECÁNICAS DEL HORMIGÓN ENDURECIDO .....	19

1.2.16.1	Permeabilidad .....	19
1.2.16.2	Resistencia a la Compresión.....	19
CAPITULO II.....		20
2	METODOLOGÍA.....	20
2.1	RESUMEN DEL PROCESO METODOLÓGICO.....	20
2.2	PROCEDIMIENTO PARA LA RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN Y ALCANCE DE LOS OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	22
2.2.1	Técnicas, Equipos e Instrumentos.....	23
2.3	PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS .....	23
CAPITULO III.....		25
3	BASES PARA ELABORAR EL HORMIGÓN.....	25
3.1	SELECCIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA EL HORMIGÓN.....	25
3.1.1	Selección de los Áridos por Muestreo .....	25
3.1.1.1	Ubicación del depósito de áridos gruesos y finos.....	25
3.1.2	Selección del Cemento.....	26
3.1.2.1	Ubicación de la fábrica de cemento.....	27
3.1.3	Selección del Tipo de Fibra de Acero.....	28
3.2	Ensayos Realizados en los Áridos Gruesos y Finos.....	29
3.3	INTERPRETACIÓN DE DATOS .....	36
3.3.1	Interpretación de Datos de los Ensayos Realizados en los Áridos Gruesos y Finos	36

3.3.2	Interpretación de Datos de la Selección del Tipo de Fibras de Acero .....	37
CAPITULO IV.....		38
4	DATOS PRELIMINARES DEL DISEÑO.....	38
4.1	CONSIDERACIONES GENERALES .....	38
4.1.1	Fibras de Acero Tipo Encoladas Rectas de Extremos Conformados (en Gancho)	
	38	
4.1.2	Justificación del Tipo de Fibra:.....	39
4.2	ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD .....	40
4.3	FUNDAMENTACIÓN .....	41
4.3.1	DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN SEGÚN EL MÉTODO A.C.I. ....	41
4.3.1.1	DATOS PRELIMINARES:.....	41
4.3.1.2	SELECCIÓN LA CONSISTENCIA O ASENTAMIENTO:.....	42
4.3.1.3	SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL ÁRIDO: .....	43
4.3.1.4	ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE:.....	44
4.3.1.5	ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA:.....	45
4.3.1.6	DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE DISEÑO:.....	46
4.3.1.7	SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO (211.1, ACI):.....	47
4.3.1.8	CALCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO.....	49
4.3.1.9	DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE CEMENTO POR VOLUMEN DE CONCRETO:.....	49
4.3.1.10	ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DEL ÁRIDO GRUESO Y FINO .....	50

4.3.1.11	AJUSTES POR HUMEDAD DEL AGREGADO .....	54
4.3.1.12	Cálculo de la Dosificación de Hormigón para Cilindros y Vigas .....	55
4.3.2	Porcentaje de Fibra de Acero en el Hormigón.....	56
4.3.2.1	Cálculo de la Dosificación de Fibra de Acero para Cilindros y Vigas.....	56
4.3.3	Propiedades Mecánicas del Hormigón en Estado Fresco y Endurecido.....	59
4.3.3.1	Determinación de la Docilidad .....	59
4.3.3.2	Determinación de la Consistencia .....	60
4.3.3.3	Determinación de la Homogeneidad .....	60
4.3.3.4	Determinación de la Densidad del Hormigón Fresco.....	61
4.3.3.5	Resistencia a la Compresión del Hormigón .....	62
4.3.3.6	Resistencia a la Tracción Indirecta o Tracción por Compresión.....	63
4.3.3.7	Determinación de la Densidad del Hormigón Endurecido.....	65
4.3.3.8	Resistencia a la Flexión del Hormigón con Cargas en los Tercios de la Luz	66
4.3.3.9	Determinación de la Deflexión en Vigas de Hormigón .....	68
CAPITULO V.....		70
5	DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN.....	70
5.1	DOSIFICACIÓN PARA HORMIGÓN DE $f^c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .....	70
5.2	DOSIFICACIÓN DE LA FIBRA DE ACERO TIPO .....	70
5.2.1	Justificación del porcentaje de fibra: .....	71
5.2.2	Dosificación de Fibra de Acero en Cilindros.....	71

5.2.3	Dosificación de Fibra de Acero en Vigas .....	74
5.2.4	Resumen de Resultados de las Dosificaciones de Fibra de Acero en Vigas y Cilindros.....	76
5.3	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO (HRFA) Y SIN FIBRAS DE ACERO .....	79
5.3.1	Comportamiento de los Hormigones con y sin Fibras de Acero en Estado Fresco	79
5.3.2	Determinación de las Resistencias a Compresión de los Hormigones con y sin Fibras de Acero en Estado Endurecido .....	81
5.3.2.1	Cuadro comparativo de las resistencias a compresión de las muestras de hormigón con y sin fibras de acero .....	82
5.3.3	Determinación de las Resistencias a Tracción de los Hormigones con y sin Fibras de Acero en Estado Endurecido .....	83
5.3.3.1	Cuadro comparativo de las resistencias a tracción de las muestras de hormigón con y sin fibras de acero .....	84
5.3.4	Determinación de las Resistencias a Flexión de los Hormigones con y sin Fibras de Acero en Estado Endurecido .....	85
5.3.4.1	Cuadro comparativo de las resistencias a flexión de las muestras de hormigón con y sin fibras de acero .....	86
5.3.5	Determinación de las Deflexiones de los Hormigones con y sin Fibras de Acero en Estado Endurecido .....	87
5.3.5.1	Cuadro comparativo de las deflexiones de las muestras de hormigón con y sin fibras de acero .....	88

CAPITULO VI.....	89
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	89
6.1 CONCLUSIONES .....	89
6.2 RECOMENDACIONES .....	90
BIBLIOGRAFÍA .....	91
ANEXOS .....	96

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Graduaciones del agregado combinado recomendados para hormigón reforzado con fibras de acero.</i> .....	11
Tabla 2 <i>Tamaño de Tamices ASTM C-33.</i> .....	13
Tabla 3 <i>Técnicas, Equipos e Instrumentos utilizados.</i> .....	23
Tabla 4 <i>Ensayos realizados en los Áridos gruesos y finos.</i> .....	29
Tabla 5 <i>Granulometría de los Agregados Finos.</i> .....	30
Tabla 6 <i>Granulometría de los Agregados Gruesos.</i> .....	31
Tabla 7 <i>Masa Unitaria Compactada y Suelta del Agregado Fino.</i> .....	32
Tabla 8 <i>Masa Unitaria Compactada y Suelta del Agregado Grueso.</i> .....	33
Tabla 9 <i>Densidad y Capacidad de Absorción del Agregado Fino.</i> .....	34
Tabla 10 <i>Densidad y Capacidad de Absorción del Agregado Grueso.</i> .....	35
Tabla 11 <i>Resultados de los Ensayos Realizados en los Agregados Gruesos y Finos.</i> .....	36
Tabla 12 <i>Propiedades de la fibra de acero.</i> .....	39
Tabla 13 <i>Resistencia de Diseño.</i> .....	41
Tabla 14 <i>Datos preliminares de diseño.</i> .....	42
Tabla 15 <i>Asentamientos recomendados para diferentes elementos constructivos.</i> .....	43
Tabla 16 <i>Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados.</i> .....	46
Tabla 17 <i>Relación agua-cemento según la resistencia a compresión.</i> .....	48

Tabla 18 <i>Dosificación para 1.15% de fibra de acero en cilindros de 15x30 cm de hormigón de <math>f'c = 210 \text{ kg/cm}^2</math>.</i> .....	76
Tabla 19 <i>Dosificación para 1.15% de fibra de acero en cilindros de 10x20 cm de hormigón de <math>f'c = 210 \text{ kg/cm}^2</math>.</i> .....	77
Tabla 20 <i>Dosificación para 1.15% de fibra de acero en vigas de 15x15x53 cm de hormigón de <math>f'c = 210 \text{ kg/cm}^2</math>.</i> .....	78
Tabla 21 <i>Propiedades en Estado Fresco del HRFA y del Hormigón Simple (Sin Fibras) en Cilindros.</i> .....	79
Tabla 22 <i>Propiedades en Estado Fresco del HRFA y del Hormigón Simple (Sin Fibras) en Vigas.</i> .....	80
Tabla 23 <i>Resistencia a la Compresión en cilindros de Hormigón con y sin Fibras de Acero.</i>	81
Tabla 24 <i>Resistencia a la Tracción Indirecta en cilindros de Hormigón con y sin fibras de acero.</i> .....	83
Tabla 25 <i>Resistencia a la Flexión en Vigas de Hormigón con y sin Fibras de Acero.</i> .....	85

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i><b>Figura 1.</b></i> Diferentes formas de fibras de acero.....	6
<i><b>Figura 2.</b></i> Secciones de las fibras más comunes.....	7
<i><b>Figura 3.</b></i> Diagrama del Proceso Metodológico para el Alcance de los Objetivos del Proyecto .....	22
<i><b>Figura 4.</b></i> Ubicación del depósito de áridos gruesos y finos. ....	26
<i><b>Figura 5.</b></i> Ubicación Industria de cementos Guapán.....	28
<i><b>Figura 6.</b></i> Fibras de acero DRAMIX RC-65/60-BN.....	39
<i><b>Figura 7.</b></i> Elección del Asentamiento.....	43
<i><b>Figura 8.</b></i> Elección del tamaño máximo del agregado.....	44
<i><b>Figura 9.</b></i> Estimación del contenido de aire.....	44
<i><b>Figura 10.</b></i> Determinación de la Resistencia de Diseño. ....	47
<i><b>Figura 11.</b></i> Selección de la Relación Agua-Cemento. ....	48
<i><b>Figura 12.</b></i> Cálculo de la cuantía de cemento.....	49
<i><b>Figura 13.</b></i> Determinación del volumen de cemento por volumen de concreto. ....	50
<i><b>Figura 14.</b></i> Volumen del agregado grueso por volumen de concreto.....	51
<i><b>Figura 15.</b></i> Determinación de los volúmenes, pesos y porcentajes de los áridos gruesos y finos.....	52
<i><b>Figura 16.</b></i> Peso de cada componente por m <sup>3</sup> de concreto, Dosificación por volumen y número de parihuelas. ....	54
<i><b>Figura 17.</b></i> Esquema de Cilindro de Hormigón.....	55

<b>Figura 18.</b> Esquema de Viga de Hormigón.....	55
<b>Figura 19.</b> Procedimiento de medición del Asentamiento.....	60
<b>Figura 20.</b> Toma de muestras cilíndricas de hormigón.....	63
<b>Figura 21.</b> Esquema para ensayo de Tracción Indirecta. ....	65
<b>Figura 22.</b> Esquema para determinar la resistencia a flexión del concreto con aplicación de carga en los tercios de la luz. ....	66
<b>Figura 23.</b> Curvas carga- desplazamiento.....	68
<b>Figura 24.</b> Resumen de la Dosificación para Hormigón de $f'c = 210\text{kg/cm}^2$ .....	70
<b>Figura 25.</b> Resistencia a la Compresión en cilindros de Hormigón con fibras y Simple. ....	82
<b>Figura 26.</b> Resistencia a la Tracción Indirecta en cilindros de Hormigón con fibras y Simple. ....	84
<b>Figura 27.</b> Resistencia a la Flexión en Vigas de Hormigón con fibras y Simple. ....	86
<b>Figura 28.</b> Deflexión en Vigas de Hormigón con y sin Fibras de Acero.....	87
<b>Figura 29.</b> Comparación entre la Deflexión Máxima en vigas de Hormigón con fibras y Simple. ....	88

## INTRODUCCIÓN

En el Ecuador como en la mayoría de países, el hormigón es el material más utilizado para la elaboración de elementos estructurales y la construcción en general.

Debido a su baja resistencia a esfuerzos de tracción se han ido buscando maneras para reforzarlo a lo largo de los años. Por ejemplo, un método para ello es utilizar armaduras convencionales de acero, formando un refuerzo continuo que es muy efectivo y útil en la construcción de obras civiles (Rodríguez y Segura, 2013). Sin embargo, desde hace décadas también se han utilizado varias técnicas diferentes para consolidar las construcciones de la época, mezclando ciertos materiales como la arcilla conjuntamente con la paja, entre otros (Silva, 2014).

Debido al avance de la ingeniería se han llegado a desarrollar fibras de distintas características que se incorporan en las mezclas de hormigón como un refuerzo para buscar mejorar algunas de sus propiedades y su comportamiento mecánico y estructural, incrementando la resistencia a la tracción disminuyendo la fisuración y aumentando la tenacidad, que es la capacidad de absorción de energía del elemento. Adicionalmente la adición de fibras optimiza al hormigón disminuyendo los efectos de la contracción debido al fraguado e incrementando la resistencia al impacto y a la fatiga (Rodríguez y Segura, 2013).

Varios estudios referentes a la adición de fibras de acero en el hormigón se han llevado a cabo por parte de importantes instituciones extranjeras como el *American Concrete Institute* (ACI), la *American Society for Testing and Materials* (ASTM), la *British Standards Institution* (BSI), entre otros. Por lo que se pueden hallar publicaciones sobre este tema, pero ninguno de ellos considerando las características de la materia prima de la región en cuestión, que difiere notablemente con la de otros países (Barros Fierro y Ramírez Cueva, 2012). Por

lo que no se posee información clara y verificable de la reacción de hormigones fibro reforzados utilizando agregados de la zona de estudio.

El presente proyecto evalúa mediante ensayos de laboratorio las propiedades físicas y mecánicas que presenta el hormigón reforzado con fibras de acero utilizando agregados de la localidad, determinando su comportamiento real en estado fresco y endurecido. Se analizan todos los resultados obtenidos de la práctica para que de esta manera se pueda contar con información precisa y sustancial que servirá de base para la implementación de esta técnica para reforzar los hormigones de las obras civiles, permitiendo un potencial desarrollo de la industria de la construcción del medio local y sus alrededores.

El capítulo 1 engloba la fundamentación teórica en el que el presente estudio está basado; los antecedentes investigativos, las definiciones y conceptos básicos.

En el capítulo 2 se define la metodología aplicada, los procedimientos para la recopilación de la información, las técnicas, los equipos, los instrumentos utilizados y como se realizó el procesamiento y el análisis de la información para llegar a las conclusiones del proyecto.

El capítulo 3 concreta las bases para elaborar el hormigón, y se presentan tabulados todos los datos recopilados de los ensayos realizados en los agregados y se interpretan sus resultados.

El capítulo 4 abarca los datos para el diseño del hormigón; los datos informativos necesarios, un análisis de la factibilidad del estudio, su justificación y la fundamentación teórica para la realización del diseño de mezclas junto con todos los pasos que se siguieron para este efecto.

En el capítulo 5 se resumen los datos y justificación de las dosificaciones utilizadas en el diseño del hormigón reforzado con fibras de acero y del hormigón simple, se presentan tabulados todos los resultados obtenidos de los ensayos realizados en dichos hormigones, se realiza el análisis comparativo y la interpretación de dicha información.

El capítulo 6 contempla las conclusiones y recomendaciones del estudio.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL:**

Determinar las propiedades físicas y mecánicas de un hormigón reforzado con fibras de acero utilizando áridos de la localidad, comparando su influencia frente a un hormigón convencional dentro de la ciudad de Azogues, Provincia del Cañar.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Determinar las propiedades y características de los agregados ejecutando los ensayos pertinentes para un correcto diseño de mezclas de hormigón.
- Evaluar cualitativa y cuantitativamente cada uno de los hormigones (fibro reforzados y convencionales), en estado plástico y endurecido.
- Realizar un análisis comparativo de los resultados obtenidos para determinar las respectivas conclusiones.

## CAPITULO I

### 1 MARCO TEÓRICO

#### 1.1 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN:

Las fibras de acero cosen las fisuras del hormigón formando un “puente” entre labios de la rotura, permitiendo una formación controlada de las fisuras, y llevando al hormigón a un comportamiento dúctil después de la fisuración inicial, evitando así la rotura frágil (Irías, 2013).

Debido a sus propiedades las piezas con incorporación de fibras, generalmente presentan una zona de fisuración más ancha, por lo que la apertura máxima y la longitud de las fisuras son bastante menor que en el caso del hormigón sin fibras. Por estos aspectos, el HRF (Hormigón Reforzado con Fibras) mejora la durabilidad del hormigón, y en algunos casos, puede hasta lograr reemplazar totalmente el refuerzo tradicional con barras de acero (Rojas, 2014).

Los filamentos de acero incorporado cosen la matriz en zonas de fisura generadas y mantienen a la muestra como un solo elemento durante un mayor tiempo, produciendo que sea más complicado su destrucción; aspecto de seguridad adquirida que cobraría relevancia frente a probables desastres dentro de una construcción (Silva, 2014).

#### 1.2 DEFINICIONES Y CONCEPTOS BÁSICOS:

##### 1.2.1 FIBRAS

“Las fibras son elementos de corta longitud y pequeña sección que se incorporan a la masa del hormigón a fin de conferirle ciertas propiedades específicas” (Anejo 14 EHE, 2008).

“Son filamentos de corta longitud y pequeña sección transversal orientadas a lo largo de un solo eje y que pueden ser de diversos materiales naturales o de procedencia industrial” (Silva, 2014).

### 1.2.2 CLASIFICACIÓN DE LAS FIBRAS

Existe una amplia variedad de fibras en el mercado mundial y de acuerdo al código A.C.I 544 se pueden señalar las siguientes:

- **Fibra Natural:** bambú, coco, bagazo de caña de azúcar, plátano, maguey, yute.
- **Fibra Sintética:** polipropileno, poliéster, nylon, aramida, acrílica, carbono.
- **Fibra de Vidrio.**
- **Fibra de Acero.** (ACI 544.1R-96, 2009).

### 1.2.3 FIBRAS DE ACERO

La fibra es un producto de acero caracterizado geoméricamente por una dimensión predominante respecto a las demás, con superficie pareja o trabajada, empleada como refuerzo en el conglomerado del hormigón, de forma rectilínea o doblada, para poder ser dispersada de forma homogénea en la masa, manteniendo inalterada las características geométricas (UNI 11037, 2003).

Según su proceso de fabricación, la norma ASTM A 820 clasifica a las fibras de acero en cuatro tipos:

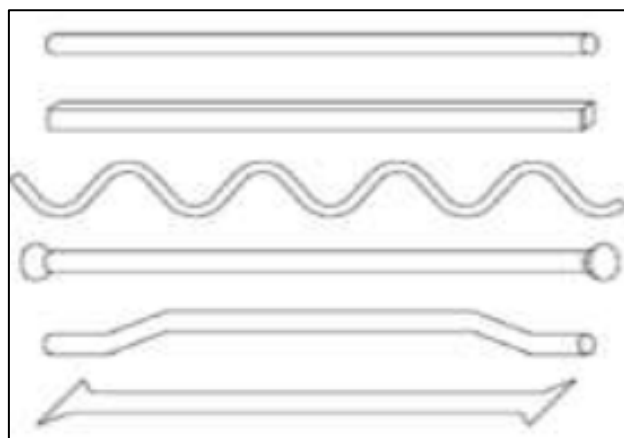
- Trefiladas: fibras de alambre conformadas a frío.
- Láminas cortadas: fibras cortadas de chapas de acero.
- Extractos fundidos: las fibras extraídas por fundición.
- Otras fibras (ASTM A820/A820M, 2016).

#### 1.2.4 CARACTERÍSTICAS DE LAS FIBRAS DE ACERO

Entre las características geométricas de las fibras de acero se puede destacar que una de las más importantes es la relación de aspecto ( $L / D_e$ ) que es el resultado de dividir el largo de la fibra (mm) entre su diámetro (mm) o en el caso de fibras no circulares el diámetro de una sección circular equivalente. Esta propiedad comprende a lo que comúnmente se conoce como esbeltez o relación de aspecto de las fibras. Otros aspectos geométricos que tienen gran predominio en la respuesta del hormigón reforzado con fibras de acero (HRFA) son su forma y sección (Zerbino, 2004).

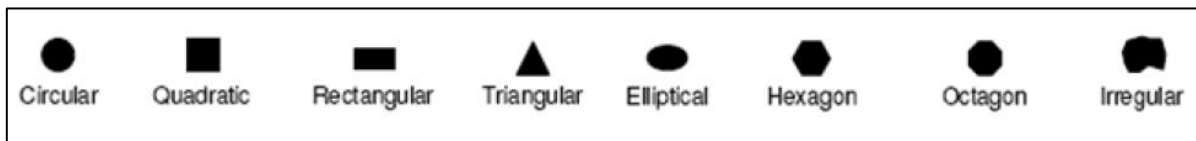
#### 1.2.5 FORMA Y SECCIÓN DE LA FIBRA DE ACERO

En cuanto a la forma y sección de la fibra se puede considerar que en sentido axial posee diferentes formas: lisas o planas, onduladas, con anclajes en los extremos, con ganchos, entre otros (Figura 1). Tomando en cuenta que las características adherentes de la fibra con la matriz de hormigón dependen significativamente de la forma geométrica de la fibra, es que actualmente se ha optado por sustituir los filamentos rectos y lisos por aquellos con superficies ásperas y deformadas, con extremos terminados en gancho, rizadas u onduladas a través de su eje longitudinal (Silva, 2014).



**Figura 1.** Diferentes formas de fibras de acero.  
**Fuente:** Blanco, A. “Durabilidad del hormigón con fibras de acero”

Generalmente la sección de las fibras también puede tener distintas configuraciones, como se muestra en la Figura 2:



*Figura 2.* Secciones de las fibras más comunes.

**Fuente:** Mármol, P. “Hormigones con Fibras de Acero Características Mecánicas”

### 1.2.6 HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRAS (HRF)

“Los hormigones reforzados con fibras (HRF), se definen como aquellos hormigones que incluyen en su composición fibras cortas, discretas y aleatoriamente distribuidas en su masa” (Anejo 14 EHE, 2008).

“El hormigón reforzado con fibras es un hormigón hecho a partir de cementos hidráulicos, conteniendo áridos finos, o finos y gruesos, y fibras discretas discontinuas” (ACI 544.1R-96, 2009).

### 1.2.7 HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO (HRFA)

El hormigón reforzado con fibras de acero es el producto de mezclar el concreto convencional con dichas fibras teniendo como objetivo incrementar ciertas propiedades físicas y mecánicas del hormigón normal. Podemos definir también al HRFA exponiendo su clara diferencia frente al hormigón armado tradicional, la cual radica en su manera de transmitir los esfuerzos a través de su refuerzo, que al no ser constituido por barras de acero que actúan en forma bidimensional como en el hormigón armado mencionado, éste se encuentra incorporado por cantidades considerables de fibras de acero que presentan una orientación aleatoria y tridimensional que cosen a la matriz cementante al momento de sufrir fisuras.

Las ventajas que presenta el uso de hormigón reforzado con fibras de acero frente a un hormigón armado tradicional son las siguientes:

- Los espesores son más reducidos porque aumenta la sección eficaz ya que no hace falta tener en cuenta los recubrimientos.
- Ahorro en materiales, debido a la supresión de recubrimientos.
- Aumento de las resistencias a la tracción y a la flexión.
- Alta resistencia al agrietamiento, al impacto y a la abrasión.
- Gran capacidad para soportar cargas.
- Mejora el comportamiento y estabilidad de las juntas.
- Permite reducir el número de juntas de retracción.
- Ahorro de tiempo y dinero en su colocación.
- Sustitución de las mallas, eliminando los riesgos de una mala colocación.
- Incrementa la ductilidad y tenacidad del hormigón.
- No requiere de bomba, dado que se puede realizar el hormigonado directamente desde el camión.
- De fácil integración al hormigón, tanto en planta como a pie de obra.
- Si fuese necesario, bombeable incluso con altas dosificaciones. No requiere de tratamientos especiales.
- Ahorro en: costos directos ya que el costo de la fibra equivale a un 50% del costo directo de la malla (contando mano de obra), en el hormigón utilizado.
- Es compatible con todo tipo de cemento y mezclas de hormigón.
- Se aplican las técnicas tradicionales de extendido y acabado.
- Es compatible con aditivos súper plastificantes, reductores de agua medios o altos, endurecedores y selladores (Rodríguez y Segura, 2013).

Vale destacar que una de las contras que presenta el hormigón cuando se le incorpora fibras de acero es que en estado plástico su trabajabilidad se reduce, este efecto puede ser contrarrestado mediante el uso de aditivos. (Rodríguez y Segura, 2013).

Otro aspecto que debe ser tomado en cuenta es la orientación de las fibras, ya que si se presenta una alteración considerable durante el mezclado se afectaría la compacidad y el acabado de las superficies. (Rodríguez y Segura, 2013).

### **1.2.8 COMPONENTES DEL HRFA**

En esencia el HRFA se encuentra compuesto por los mismos materiales que un hormigón tradicional al que nada más se le incorporan fibras de acero.

#### **1.2.8.1 Cemento**

El cemento es un componente decisivo en la docilidad del material en estado fresco y posteriormente en las características mecánicas del hormigón endurecido. La elaboración de un hormigón reforzado con fibras de acero no dispone el uso de un tipo de cemento específico. Mientras se cumplan con los condicionantes que se exigen en otros diseños: tiempo de fraguado, resistencias requeridas, entre otros (Rodríguez y Segura, 2013).

#### **1.2.8.2 Agua**

El agua que se utilizará en la mezcla tampoco debe cumplir requisitos diferentes a la del hormigón normal, pero es indispensable acrecentar el volumen de pasta. Este acrecentamiento puede conseguirse al considerar la relación agua–cemento a través del incremento de volumen de conglomerante, es decir, o bien aumentando la cantidad de cemento o con el uso de aditivos (Silva, 2014).

### 1.2.8.3 Aditivos

Los aditivos para el hormigón son elementos de naturaleza orgánica o inorgánica, cuya inclusión tiene como objeto modificar las propiedades físicas típicas de los materiales conglomerados en estado fresco y obtener características específicas según las necesidades de la obra y del diseño de la mezcla. Pueden presentarse en forma de polvo o de líquido. En los HRFA se emplean principalmente aditivos reductores de agua (superplastificantes) e inclusores de aire. Ya que, al incorporar fibras de acero al hormigón, ésta sufre una reducción considerable en su trabajabilidad. “El Anejo 14 de la EHE 2008 establece que, cuando las fibras utilizadas sean metálicas, el ion cloruro total aportado por los componentes no debe exceder del 0.4% del peso del cemento” (Rodríguez y Segura, 2013).

### 1.2.8.4 Áridos

Es necesario cumplir con los requerimientos de resistencia, durabilidad, estabilidad, entre otros, para ello las características minerales nos deben proporcionar un material resistente, sin porosidad, ya que es importante limitar su capacidad de absorción, además la incorporación de fibras sugiere seguir determinadas características físicas como: tamaño máximo del agregado grueso, mayor porcentaje de árido fino y su granulometría conjunta, tenemos la siguiente tabla según la Normativa ACI 544 1R (Silva, 2014).

Tabla 1

*Graduaciones del agregado combinado recomendados para hormigón reforzado con fibras de acero.*

Percent Passing for Maximum Size of					
U. S. standard sieve size	$\frac{3}{8}$ in. (10 mm)	$\frac{1}{2}$ in. (13 mm)	$\frac{3}{4}$ in. (19 mm)	1 in. (25 mm)	$1\frac{1}{2}$ in. (38 mm)
2 (51 mm)	100	100	100	100	100
$1\frac{1}{2}$ (38 mm)	100	100	100	100	85-100
1 (25 mm)	100	100	100	94-100	65-85
$\frac{3}{4}$ (19 mm)	100	100	94-100	76-82	58-77
$\frac{1}{2}$ (13 mm)	100	93-100	70-88	65-76	50-68
$\frac{3}{8}$ (10 mm)	96-100	85-96	61-73	56-66	46-58
#4 (5 mm)	72-84	58-78	48-56	45-53	38-50
#8 (2.4 mm)	46-57	41-53	40-47	36-44	29-43
#16 (1.1 mm)	34-44	32-42	32-40	29-38	21-34
#30 (600 $\mu$ m)	22-33	19-30	20-32	19-28	13-27
#50 (300 $\mu$ m)	10-18	8-15	10-20	8-20	7-19
#100 (150 $\mu$ m)	2-7	1-5	3-9	2-8	2-8
#200 (75 $\mu$ m)	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2

Fuente: ACI 544 1R – State of the Art Report on Fiber Reinforced Concrete

### 1.2.8.5 Fibras de acero para HRFA

Las fibras deben tener ciertas propiedades que garanticen la efectividad del refuerzo matriz-fibras y son:

- Una resistencia a tracción significativamente mayor que la del hormigón.
- Una adherencia con la matriz del mismo orden o mayor que la resistencia a tracción de la matriz.
- Un módulo de elasticidad significativamente mayor que el del hormigón (Ramos, 2012).

### 1.2.9 ORIENTACIÓN DE LAS FIBRAS EN EL HRFA

“La orientación de las fibras en el hormigón influye de forma significativa en el comportamiento post-fisuración del material. En función de la orientación de las fibras con

respecto al plano de fisuración, la acción de refuerzo de las fibras será más o menos eficiente" (Rojas, 2014).

A pesar de que las fibras se distribuyan en forma homogénea al mezclar, la orientación se puede modificar por el proceso de llenado y compactación y por el efecto pared, el cual es conocido por la orientación de las fibras en paralelo a las paredes o superficies de encofrado. Es necesario destacar que el proceso de compactación por vibración no tiene un efecto significativo en la orientación de las fibras si sólo se lleva a cabo durante 1 o 2 minutos o si la trabajabilidad del hormigón no es suficientemente alta, mientras que excesiva vibración da lugar a una orientación preferencial y segregación (Rojas, 2014).

#### **1.2.10 AGREGADOS**

Los agregados son partículas de roca que poseen distintos tamaños y propiedades, dependiendo de su lugar de origen natural, dichas partículas son el producto de procesos de trituración controlada que se lleva a cabo para obtener la materia prima con la que se elabora el hormigón (Silva, 2014).

“Material granular como: arena, grava, piedra triturada o escoria de altos hornos de hierro, que se usa con un cementante para elaborar hormigón o mortero de cemento hidráulico” (NTE INEN 1762, 2014).

Los agregados para hormigón se pueden clasificar en:

- 1. AGREGADO FINO.-** “Árido que pasa por el tamiz de 9,5 mm (3/8”) y que la mayor parte de sus partículas pasa el tamiz de 4,75 mm (No. 4) y son retenidas en su mayoría en el tamiz 75 µm (No. 200), o la parte de un árido que pasa por el tamiz de 4,75 (No. 4) y es retenido en el tamiz de 75 µm (No. 200)” (NTE INEN 1762, 2014).

- 2. AGREGADO GRUESO.-** “Árido en que la mayor parte de sus partículas quedan retenidas en el tamiz de 4,75 mm (No. 4), o la porción de un árido retenido sobre el tamiz de 4,75 mm (No. 4)” (NTE INEN 1762, 2014).

## 1.2.11 PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS FINOS

### 1.2.11.1 Granulometría

Siendo la granulometría la distribución de los tamaños de las partículas, esta debe cumplir con los límites de la norma (ASTM C-33) indicada a continuación:

Tabla 2

*Tamaño de Tamices ASTM C-33.*

Tamaño de la malla	Porcentaje que pasa en peso
9.52 mm (3/8")	100
4.75 mm (No.4)	95 a 100
2.36 mm (No.8)	80 a 100
1.18 mm (No.16)	50 a 85
0.60 mm (No.30)	25 a 60
0.30 mm (No.50)	10 a 30
0.15 mm (No.100)	2 a 10

**Fuente:** ASTM C-33. Especificación Normalizada para agregados en el concreto

### 1.2.11.2 Módulo de Finura

Factor que se obtiene sumando los porcentajes de material en la muestra, que son más gruesos que cada uno de los siguientes tamices (porcentajes retenidos acumulados) y dividiendo la suma para 100: 150  $\mu$ m (No. 100), 300  $\mu$ m (No. 50),

600  $\mu\text{m}$  (No. 30), 1,18 (No. 16), 2,36 mm (No. 8), 4,75 mm (No. 4), 9,5 mm (3/8”), 19,0 mm (3/4”), 37,5 mm (1 1/2”), 75 mm (3”), 150 mm (6”) (NTE INEN 1762, 2014).

El módulo de finura es un parámetro altamente substancial a considerar en el diseño de mezclas de hormigón, este debe cumplir ciertos requisitos que conllevarán a determinar que método es el más conveniente a la hora de elaborar dichos diseños (Silva, 2014).

### 1.2.11.3 Densidad Relativa

“La densidad relativa (gravedad específica) de un árido es la relación entre su masa y la masa de agua con igual volumen absoluto. Este ensayo se lo realiza de acuerdo a la norma NTE INEN 856” (Silva, 2014).

### 1.2.11.4 Contenido de Humedad

“Es la cantidad de agua existente en un material expresada como un porcentaje de su masa seca” (NTE INEN 1762, 2014).

Todos los agregados presentan cierto grado de humedad, pues no existen agregados con una masa tal que no permita la aparición de espacios vacíos, este contenido de humedad va relacionado con la porosidad de las partículas. Adicionalmente las partículas de árido pueden pasar por cuatro estados, los cuales se describen a continuación:

1. **Seco al horno:** se consigue mediante un secado al horno a 110° C hasta que el agregado tenga un peso constante (por lo general 12 horas).
2. **Seco al aire:** se logra mediante la exposición de las partículas al aire libre.
3. **Saturado superficialmente seco (S.S.S):** es un estado límite en donde todas las partículas presentan sus poros completamente llenos de agua, pero superficialmente se encuentran secos. Este estado se logra únicamente en el laboratorio.

4. **Saturado superficialmente húmedo:** todos los agregados están llenos de agua y adicionalmente hay presencia de agua libre en su superficie (NTE INEN 856, 2010).

#### **1.2.11.5 Peso Volumétrico**

Para hallar este parámetro tomamos en cuenta la norma NTE INEN 858, determinando de esta manera el peso volumétrico o masa unitaria del agregado en condición compactada y suelta para que de esta forma sea posible calcular los vacíos entre áridos.

### **1.2.12 PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS GRUESOS**

#### **1.2.12.1 Granulometría**

Representa la distribución de los tamaños que posee el agregado. La norma NTE INEN 696 establece el procedimiento para su determinación mediante el tamizado, obteniéndose la masa de las fracciones del agregado retenidas en cada uno de los tamices. Eventualmente se calcula la masa retenida que pasa, también los porcentajes parciales y acumulados (NTE INEN 1762, 2014).

Es aconsejable que el agregado grueso en conjunto tenga una determinada continuidad de tamaños de sus partículas, además se dice que el tamaño máximo del árido influye en el aspecto económico en la preparación del concreto, pues se necesita más agua y cemento para agregados con partículas pequeñas que para tamaños mayores (Silva, 2014).

Conforme a las especificaciones de la norma ASTM E-11 la serie de tamices necesarios para la determinación del análisis granulométrico del árido grueso son: 2'', 1/2'', 1'', 3/4'', 1/2'', 3/8'', #4.

### **1.2.12.2 Tamaño Nominal Máximo TNM**

Para determinar el tamaño nominal máximo se busca el primer valor que represente el 15% o más en la columna de % Retenido Acumulado de la tabla del análisis granulométrico de una muestra de agregado, y el TNM será la abertura del tamiz antes del cual corresponde al que retiene el 15% o más (Silva, 2014).

Comúnmente el tamaño máximo de las partículas no debe ser superior a:

- Un quinto de la dimensión más pequeña del miembro de concreto.
- Tres cuartos del espaciamiento libre entre barras de refuerzo.
- Un tercio del peralte de las losas (Silva, 2014).

### **1.2.12.3 Densidad Relativa**

“Se realiza de acuerdo a la norma ASTM C 127, NTE INEN 857. Mediante la aplicación de este ensayo es posible determinar la densidad promedio de una muestra de agregado grueso (descartando el volumen de vacíos entre partículas)” (Silva, 2014).

### **1.2.13 HORMIGÓN**

“Material compuesto que consiste esencialmente de un medio aglutinante en el que están embebidos partículas y fragmentos de áridos; en el hormigón de cemento hidráulico, el aglutinante está formado por una mezcla de cemento hidráulico y agua” (NTE INEN 1762, 2014).

La mezcla de cemento con el agua toma el nombre de Pasta o Matriz Cementante cuyas funciones son:

- Cuando el hormigón se encuentra en estado fresco, la pasta actúa como un lubricante que permite que las partículas puedan deslizarse (Rochel, 1998).

- Cuando el hormigón alcanza el estado sólido, la matriz cementante “contribuye a proporcionar a la mezcla su resistencia mecánica. Además, rellena los espacios entre partículas proporcionándole al hormigón la característica de impermeabilidad” (Silva, 2014).

#### **1.2.14 CALIDAD DEL HORMIGÓN**

El control de calidad es uno de los aspectos más relevantes al momento de realizar un diseño de mezclas de hormigón, se podría decir que este es el primer proceso que se lleva a cabo y está ligado íntimamente con las características de los componentes de la mezcla de hormigón, en la forma en la que éstos son seleccionados y manejados, se sabe que existen una gran variedad de métodos de diseño de hormigones, pero hay que tener un conocimiento muy profundo acerca del comportamiento de los hormigones según sus componentes para saber escoger el método adecuado que permite elaborar un hormigón con un funcionamiento y resistencia deseada.

Es recomendable que en el método de diseño que se vaya a utilizar siempre se opte por realizar una medición de los pesos de los respectivos componentes, ya que de esta forma se asegura una buena precisión con los datos para el diseño. Además, en algunos casos, como cuando se utilizan aditivos o se busca un hormigón de buena calidad, la medición en peso de todos los componentes es imprescindible.

Una vez determinadas dichas proporciones que se usarán en la mezcla, debemos verificar que el concreto se halle adecuadamente mezclado, para que adquiera una homogeneidad idónea lo cual conllevará a que presente características convenientes en estado plástico. Luego se debe dar una valoración a las propiedades del hormigón en estado fresco, es decir, se debe evaluar sus características en estado plástico para poder determinar si la mezcla cumple con los requisitos y a su vez llevar un registro cuantificado de dichas propiedades, tales como; la

trabajabilidad, la homogeneidad, la consistencia, etc. Al terminar este proceso se coloca y compacta el hormigón adecuadamente, eliminando vacíos, para que posteriormente sea sometido a la cámara de curado en donde fraguará y alcanzará el estado endurecido.

“Este proceso es paulatino; un correcto curado permite evitar la aparición de fisuras no deseadas” (Jiménez, 2001).

### **1.2.15 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL HORMIGÓN FRESCO**

Se denomina como hormigón fresco al hormigón que al presentar plasticidad tiene la capacidad de poder moldearse. “Las propiedades más relevantes del hormigón fresco son: Consistencia, Docilidad, Homogeneidad y Peso Específico” (Silva, 2014).

#### **1.2.15.1 Consistencia**

“Es la oposición que demuestra el concreto en su estado fresco a experimentar deformaciones. Depende de la granulometría, forma y tamaño máximo de los agregados, de la cantidad de agua y cemento, además del posible uso de aditivos” (Silva, 2014).

#### **1.2.15.2 Docilidad**

Conocida también como trabajabilidad, “es la mayor o menor facilidad que presenta un hormigón o mortero para mezclarse, transportarse y colocarse, sin perder homogeneidad” (NTE INEN 1762, 2014).

#### **1.2.15.3 Homogeneidad**

“Se dice que un hormigón es homogéneo cuando en cualquier parte de su masa, los componentes que lo conforman están perfectamente mezclados y en la proporción prevista en la etapa del diseño de la mezcla” (Silva, 2014).

#### 1.2.15.4 Peso Específico

“Es la relación que existe entre la masa del hormigón fresco y el volumen que ocupa. El peso específico es un buen índice de medida de su uniformidad” (Silva, 2014).

### 1.2.16 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL HORMIGÓN ENDURECIDO

El concreto presenta un “proceso de endurecimiento continuo que lo transforma de un material plástico a uno sólido, debido a que pasa por una fase físico-química compleja” (Silva, 2014).

#### 1.2.16.1 Permeabilidad

“El hormigón es un material permeable, es decir que al estar sometido exteriormente a presión de agua, se genera escurrimiento a través de su superficie. El parámetro que más influye es la relación agua/cemento, pues al disminuir esta disminuye la permeabilidad del concreto” (Silva, 2014).

#### 1.2.16.2 Resistencia a la Compresión

El hormigón convencional es un material que trabaja con gran desempeño a compresión, su resistencia a esta fuerza supera en 10 veces a su baja resistencia a la tracción y flexión.

- **Resistencia Característica.-** Valor de la resistencia a la compresión del hormigón simple, si se ensayan varias muestras en el laboratorio, el 95% de las probetas tienen resistencias mayores o iguales.
- **Resistencia Media.-** Media aritmética entre las resistencias a compresión obtenidas de varias muestras de hormigón (Silva, 2014).

## CAPITULO II

### 2 METODOLOGÍA

#### 2.1 RESUMEN DEL PROCESO METODOLÓGICO

El presente proyecto está orientado a ser un estudio de orden cuantitativo y cualitativo, ya que se basa en el análisis de información y datos que se conseguirán mediante los respectivos ensayos de los materiales para determinar el comportamiento de los hormigones fibro reforzados elaborados con agregados que se utilicen en las obras de la ciudad de Azogues. Por otra parte, se observará y se determinará como variarán las propiedades mecánicas de los hormigones reforzados con fibras de acero. Además de esto se debe tener en cuenta que es indispensable determinar las características de los áridos gruesos y finos, para así obtener resultados certeros y confiables para elaborar satisfactoriamente un hormigón de acuerdo a las normativas vigentes.

El presente proyecto se desarrollará bajo distintas modalidades de investigación debido a los diversos procesos que se tendrán que llevar a cabo para lograr los objetivos del mismo. En primer lugar, se tratará de una investigación de campo, ya que se obtendrán los agregados a utilizar en el hormigón al seleccionarlos de una mina específica dentro de la zona de estudio mediante muestreo tomando en consideración la norma NTE INEN 695:2010.

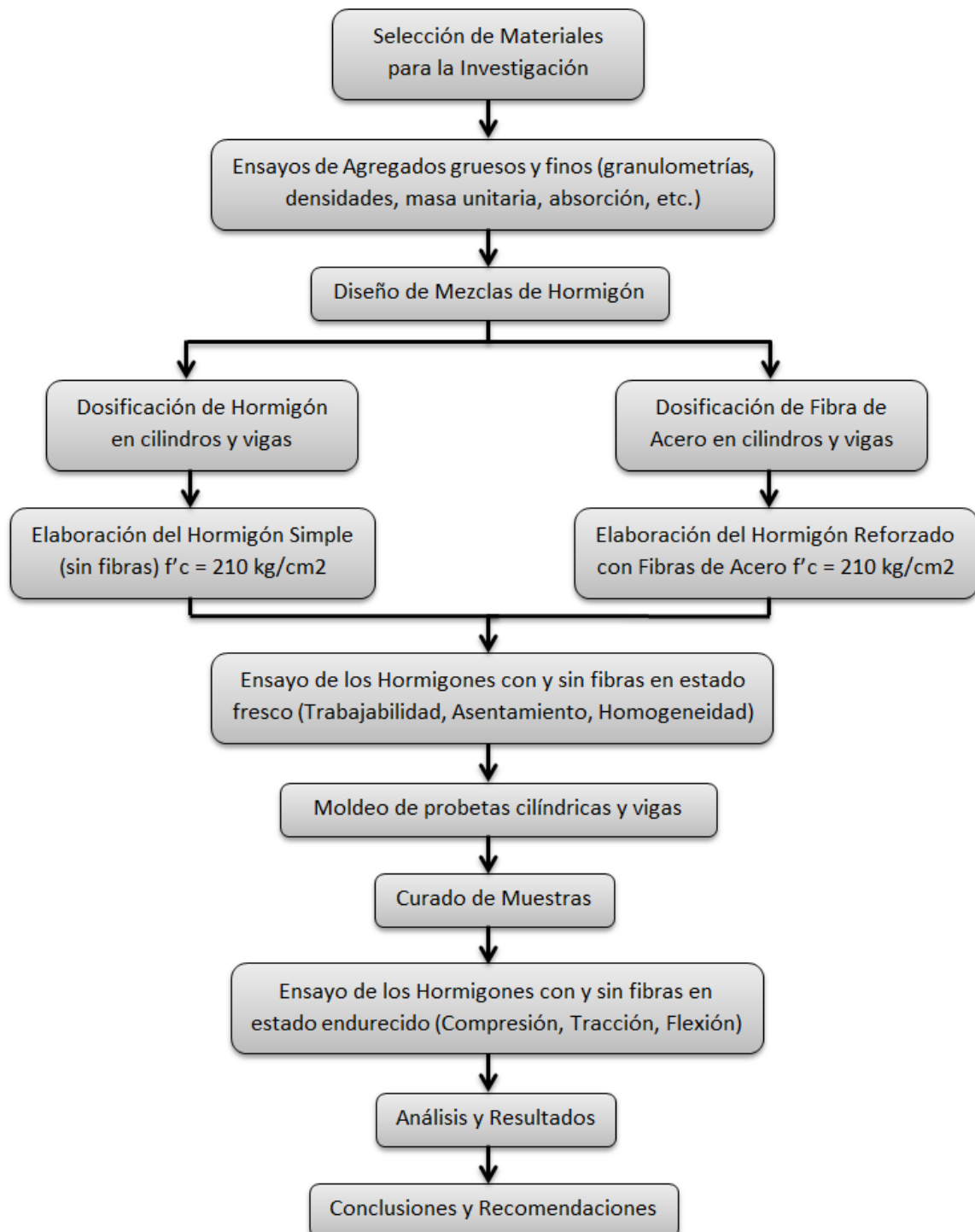
Se obtendrán las fibras de acero de un proveedor reconocido en el país, para ello se deberá realizar un pedido de estos materiales para su obtención y posterior utilización. Se obtendrá el cemento tipo que utilizaremos en las mezclas, el cual será único para todas ellas, de manera que se eviten diferencias e inconvenientes.

En segundo lugar, será una investigación de laboratorio y experimental ya que se ejecutarán en el laboratorio los ensayos y pruebas con los agregados para obtener sus propiedades y se

realizarán los diseños de mezclas en base a esto. Se elaborarán las muestras, mismas que corresponderán a 8 cilindros de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, y de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura, dependiendo del ensayo a realizar, y 4 vigas de 15x15x53 cm aproximadamente con las mezclas diseñadas con y sin fibras, el respectivo moldeo de todas las muestras se realizará conforme lo estipulado en la norma INEN 1576:2011. A las muestras que incluyen fibras, se les introducirá el mismo porcentaje y tipo de éstas para no alterar la precisión de los resultados. El curado de los especímenes se lo realiza según la norma INEN 2528:2010, luego de 28 días de haber elaborado las muestras de hormigón se procederá a someterlas a esfuerzos de tracción, compresión y flexión en la prensa, y una vez obtenidos los datos necesarios de los hormigones ensayados, se examinarán las diferencias que existen en los resultados con y sin fibras, y se determinarán las conclusiones respectivas. Los resultados del estudio se presentarán mediante cuadros y gráficos en columna que serán debidamente analizados e interpretados.

A su vez se desarrollará una investigación bibliográfica puesto que será de mucha importancia realizar diversas investigaciones, ya que se realizará una comparación y análisis de los resultados obtenidos a lo largo de todo el proyecto y se hará referencia a resultados reales que se han obtenido en estudios similares. También se deberá tener muy en cuenta las especificaciones que nos señalan las normas INEN y el Código ASTM al momento de realizar los ensayos en las muestras determinadas. Para el hormigón reforzado con fibras de acero debemos basarnos en los requisitos que nos indica el código ACI. Es menester tener muy claro cada una de las consideraciones que las respectivas normas proponen en sus publicaciones.

## 2.2 PROCEDIMIENTO PARA LA RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN Y ALCANCE DE LOS OBJETIVOS DEL PROYECTO



**Figura 3.** Diagrama del Proceso Metodológico para el Alcance de los Objetivos del Proyecto  
**Fuente:** Elaboración propia.

En base a la metodología expuesta anteriormente, se procedió a la planeación del procedimiento para la recolección de los datos que fueron imprescindibles para el desarrollo del presente proyecto, la Figura 3 muestra los procesos que se siguieron para este efecto, así como para llegar al cumplimiento de los objetivos y a su vez a las conclusiones del estudio.

A continuación, se definen exactamente las técnicas, instrumentos y equipos para alcanzar correctamente los objetivos determinados.

### 2.2.1 Técnicas, Equipos e Instrumentos

Tabla 3

*Técnicas, Equipos e Instrumentos utilizados.*

<b>Técnicas</b>	<b>Equipos</b>	<b>Instrumentos</b>
Ensayos de Laboratorio	Equipo de Seguridad	Guantes, Mandiles, Mascarillas, Orejeras
	Equipo de Laboratorio	Tamices para granulometría gruesa y fina, Bandejas, Palas, Baldes, Recipientes, Balanza, Canastilla, Horno, Picnómetro, Martillo, Moldes, Varillas, Parihuela, Concretera, Prensa, Flexómetro, Deformímetro, Cámara de curado.
	Equipo de Escritorio	Computador
	Equipo bibliográfico	Libros, textos
	Equipo de Transporte	Vehículo Liviano

**Fuente:** Elaboración propia.

### 2.3 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

Se estableció un plan de procesamiento para el debido análisis de toda la información recopilada durante el desarrollo del estudio. A continuación, se indican los pasos que se siguieron para dicho proceso:

- Realización de un análisis crítico-técnico de la información recopilada.
- Tabulación de dicha información a través de cuadros, indicando todos los aspectos y puntos importantes que deben ser tomados en cuenta.
- Generación de gráficos mediante un programa de computadora (Excel), en los cuales se muestren los resultados obtenidos.
- Evaluación e interpretación de dichos resultados, correlacionándolos con las distintas secciones del estudio, fundamentalmente con los objetivos estipulados.

Un correcto desarrollo del estudio sobre la evaluación de las propiedades de un hormigón influenciado por la adición de fibras de acero en su mezcla requiere de mucha investigación, una investigación que se realizó a priori, dicha investigación debe contemplar todo lo que respecta a los componentes del hormigón fibro reforzado; el cemento, los agregados y sobre todo las fibras a utilizar. Adicionalmente recopilar toda la información para la selección de los componentes del hormigón mencionados; la identificación del depósito de agregados, de la fábrica de cemento, de la compañía que distribuye las fibras y las normativas bajo las cuales se maneja la producción y distribución de los elementos considerados.

Una vez desarrollados todos los procedimientos que se han expuesto en el capítulo se podrán definir las respectivas conclusiones que permitirán emitir un juicio crítico sobre la influencia de las fibras de acero en las propiedades físicas y mecánicas de un hormigón fibro reforzado en la ciudad de Azogues, Provincia del Cañar.

## CAPITULO III

### 3 BASES PARA ELABORAR EL HORMIGÓN

#### 3.1 SELECCIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA EL HORMIGÓN

Se seleccionan a continuación 3 de los parámetros que son fundamentales para la debida elaboración de un hormigón; la selección de los agregados gruesos y finos, la selección del tipo de cemento a utilizar, y en el caso del hormigón fibro reforzado la selección del tipo de fibra de acero a emplear en la mezcla. A continuación, se definen bajo que consideraciones y normativas se hicieron las respectivas selecciones:

##### 3.1.1 Selección de los Áridos por Muestreo

Los áridos gruesos y finos que se utilizarán en este estudio para todos los hormigones a elaborar se obtendrán de la mina de Santa Isabel, cuyo depósito que los distribuye está localizado en la carretera E35, junto al Hotel León en la ciudad de Azogues. Los agregados de dicha mina se utilizan en diversas obras civiles dentro y fuera de la ciudad.

Se aplicará la norma (NTE INEN 695:2010) para el respectivo muestreo de los agregados.

##### 3.1.1.1 Ubicación del depósito de áridos gruesos y finos

El depósito que distribuye los áridos gruesos y finos de la mina de Santa Isabel se encuentra ubicado en la ciudad de Azogues, en la carretera E35 junto al Hotel León.

Sus respectivas coordenadas son:

N: 9696029.9

E: 738928.5

Z: 2474

Como se mencionó en el numeral anterior, los agregados de la mina de Santa Isabel que son distribuidos por este depósito se utilizan en diversas obras civiles dentro y fuera de la ciudad, por esta razón se los tomó en cuenta para la elaboración del hormigón fibro reforzado y del hormigón simple que fueron evaluados en el presente estudio.



**Figura 4.** Ubicación del depósito de áridos gruesos y finos.

**Fuente:** Google maps (2018).

### 3.1.2 Selección del Cemento

El cemento que se implementará en las mezclas de hormigón será el Cemento Portland Puzolánico tipo IP de la Unión Cementera Nacional, UCEM C.E.M., que cuenta con oficinas en la ciudad de Azogues y la fábrica de cemento “Industrias Guapán” que es parte dicha compañía tras haberse fusionado con la compañía Cementos Chimborazo C.A. para formar la Compañía de Economía Mixta mencionada en noviembre del año 2013.

Es importante señalar que dicho cemento tiene una densidad de 3140 kg/m<sup>3</sup>, dato que es necesario en el momento de hacer el diseño de mezclas de hormigón que se pretende.

El hormigón es conocido por su resistencia a la compresión, y en el medio local las resistencias más consideradas comúnmente son las de 18, 21, 24, 28, 30 MPa. En el proyecto propuesto se va a tener en cuenta un hormigón con resistencia a la compresión de 21 MPa, que corresponde a 210 kg/cm<sup>2</sup>.

### **3.1.2.1 Ubicación de la fábrica de cemento**

La fábrica de cemento "Industrias Guapán" se encuentra localizada en la ciudad de Azogues, en la parroquia Guapán.

Sus respectivas coordenadas son:

N: 9698461.2

E: 739140.9

Z: 2512

La Compañía de Economía Mixta, "Unión Cementera Nacional, UCEM C.E.M." es la predominante en producción y distribución en la zona, sus productos son de alta calidad y cuentan con la certificación NTE INEN 490-2011, por este motivo se los ha seleccionado como el cemento a utilizar en el presente estudio.



**Figura 5.** Ubicación Industria de cementos Guapán.  
Fuente: Google maps (2018).

### 3.1.3 Selección del Tipo de Fibra de Acero

De acuerdo al código ACI 544 1R-96 la capacidad de adherencia de la fibra con el hormigón depende de la relación de aspecto o esbeltez, pues a mayor sea esta se consigue mejorar la adherencia de los filamentos a la matriz cementante del concreto. Los valores típicos de esbeltez de las fibras de acero comerciales van de 20 a 100, mientras que la longitud de las fibras está comprendida entre 0.25 y 3 pulgadas (6.4 mm – 76 mm) (Silva, 2014).

Para la selección de las fibras de acero adecuadas para el refuerzo del hormigón es necesario tener en cuenta que:

La longitud para estas fibras se recomienda que tengan un mínimo de 2 veces el tamaño del árido mayor, además el diámetro de la tubería de bombeo exige que la longitud de la fibra sea inferior a  $2/3$  del diámetro del tubo. Por otro lado, también es verdad que la longitud de la fibra debe ser suficiente para dar una adherencia necesaria a la matriz y evitar arrancamientos con demasiada facilidad, por lo que es común usar longitudes de 2,5 a 3 veces el tamaño máximo del árido (Figuroa, 2013).

En cuanto a la presentación de la fibra de acero puede clasificarse en:

- Fibras de Acero sueltas, tal como se entiende por su nombre, no forman paquetes.
- Fibras de Acero encoladas, son fibras que forman pequeños conjuntos denominados peines, integrados por alambres unidos con un pegamento que se disuelve al contacto con el agua. Es preferible la utilización de las fibras encoladas para evitar lo más que se pueda la formación de pelotas de filamentos en la mezcla (erizos) (Silva, 2014).

Considerando todo lo mencionado, se seleccionó la fibra de acero que distribuye la compañía “Ideal Alambrec Bekaert S.A.” puesto que es un fabricante reconocido en el país y se caracteriza por comercializar productos de calidad.

### 3.2 ENSAYOS REALIZADOS EN LOS ÁRIDOS GRUESOS Y FINOS

Los ensayos que se realizaron en los áridos gruesos y finos se indican en la siguiente tabla:

Tabla 4

*Ensayos realizados en los Áridos gruesos y finos.*

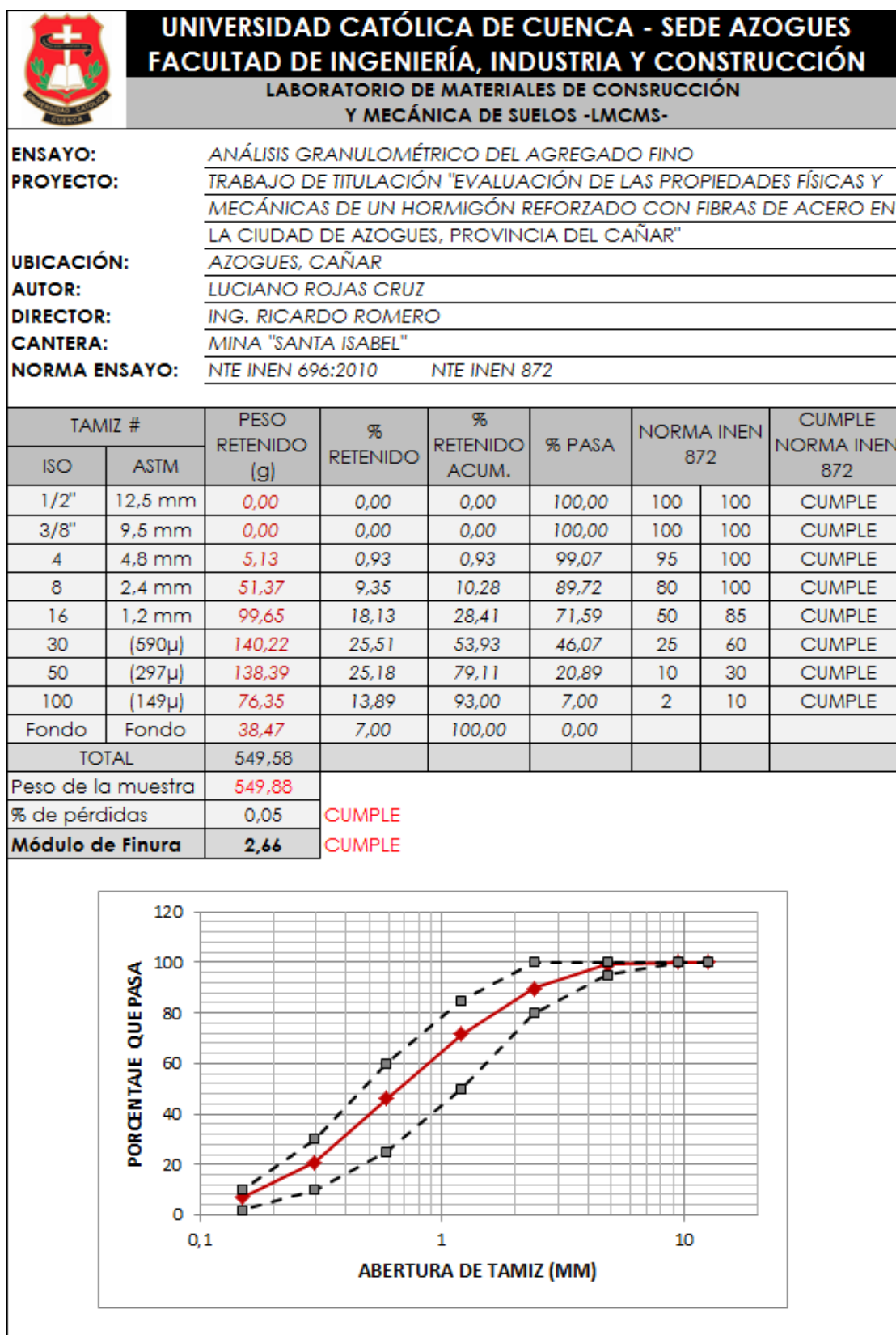
<b>ENSAYOS REALIZADOS</b>	<b>ÁRIDOS GRUESOS</b>	<b>ÁRIDOS FINOS</b>
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	✓	✓
PESO UNITARIO SUELTO	✓	✓
PESO UNITARIO COMPACTADO	✓	✓
PESO ESPECÍFICO	✓	✓
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN	✓	✓

**Fuente:** Elaboración propia.

A continuación, se detalla cada una de las tablas elaboradas a partir de los ensayos realizados en los agregados, mismos que se han enumerado en la Tabla 4.

Tabla 5

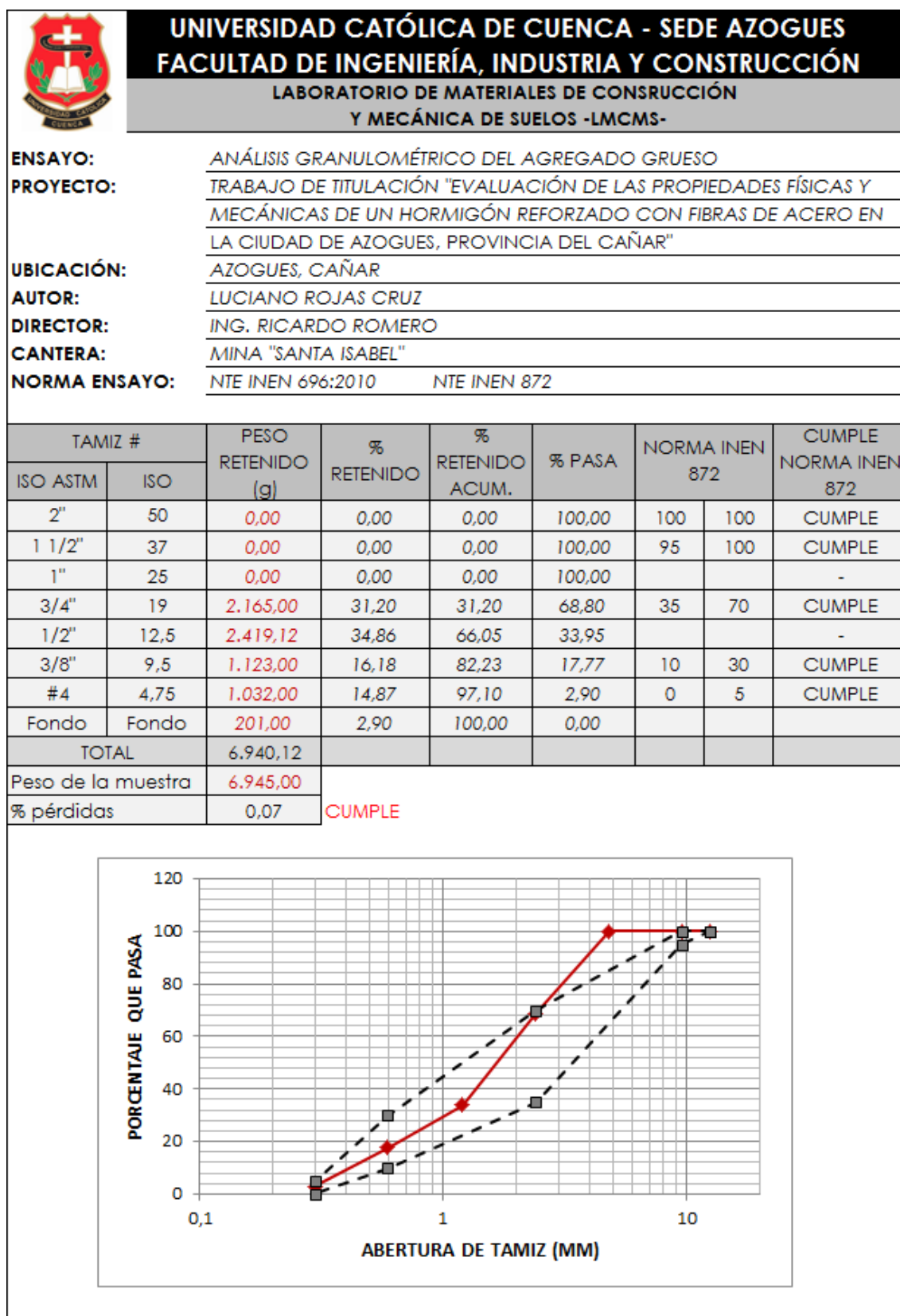
## Granulometría de los Agregados Finos.



Fuente: Laboratorio de Materiales de Construcción y Mecánica de Suelos (UCACUE).

Tabla 6


## Granulometría de los Agregados Gruesos.



Fuente: Laboratorio de Materiales de Construcción y Mecánica de Suelos (UCACUE).

Tabla 7


Masa Unitaria Compactada y Suelta del Agregado Fino.

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA - SEDE AZOGUES</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN</b> LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y MECÁNICA DE SUELOS -LMCMS-	
<b>ENSAYO:</b>	MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) Y PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO FINO
<b>PROYECTO:</b>	TRABAJO DE TITULACIÓN "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO EN LA CIUDAD DE AZOGUES, PROVINCIA DEL CAÑAR"
<b>UBICACIÓN:</b>	AZOGUES, CAÑAR
<b>AUTOR:</b>	LUCIANO ROJAS CRUZ
<b>DIRECTOR:</b>	ING. RICARDO ROMERO
<b>CANtera:</b>	MINA "SANTA ISABEL"
<b>NORMA ENSAYO:</b>	NTE INEN 858:2010
<b>SÍMBOLOS</b>	
	Mc = Masa unitaria (peso volumétrico) compactada del árido, kg/m <sup>3</sup>
	Ms = Masa unitaria (peso volumétrico) suelta del árido, kg/m <sup>3</sup>
	Gc = masa unitaria compactada del árido más el molde, kg
	Gs = masa unitaria suelta del árido suelto más el molde, kg
	T = masa del molde; kg
	V = Volumen del molde; m <sup>3</sup>
<b>DATOS:</b>	
Mc =	4662,0 gr
Ms =	4255,0 gr
Gc =	10771,0 gr
Gs =	10364,0 gr
T =	6109,0 gr
V =	0,0030 m <sup>3</sup>
<b>CÁLCULOS:</b>	
Masa unitaria (peso volumétrico) compacta del árido, kg/m <sup>3</sup>	<b>Mc</b> $\frac{G_c - T}{V} = 1.580,34$
Masa unitaria (peso volumétrico) suelta del árido, kg/m <sup>3</sup>	<b>Ms</b> $\frac{G_s - T}{V} = 1.442,37$

**Fuente:** Laboratorio de Materiales de Construcción y Mecánica de Suelos (UCACUE).

Tabla 8


Masa Unitaria Compactada y Suelta del Agregado Grueso.

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA - SEDE AZOGUES</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN</b> LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y MECÁNICA DE SUELOS -LMCMS-	
<b>ENSAYO:</b>	MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) Y PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO GRUESO
<b>PROYECTO:</b>	TRABAJO DE TITULACIÓN "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO EN LA CIUDAD DE AZOGUES, PROVINCIA DEL CAÑAR"
<b>UBICACIÓN:</b>	AZOGUES, CAÑAR
<b>AUTOR:</b>	LUCIANO ROJAS CRUZ
<b>DIRECTOR:</b>	ING. RICARDO ROMERO
<b>CANTERA:</b>	MINA "SANTA ISABEL"
<b>NORMA ENSAYO:</b>	NTE INEN 858:2010
<b>SÍMBOLOS</b>	
	Mc = Masa unitaria (peso volumétrico) compactada del árido, kg/m <sup>3</sup>
	Ms = Masa unitaria (peso volumétrico) suelta del árido, kg/m <sup>3</sup>
	Gc = masa unitaria compactada del árido más el molde, kg
	Gs = masa unitaria suelta del árido suelto más el molde, kg
	T = masa del molde; kg
	V = Volumen del molde; m <sup>3</sup>
<b>DATOS:</b>	
Mc =	20040,0 gr
Ms =	18406,0 gr
Gc =	34428,0 gr
Gs =	32794,0 gr
T =	14388,0 g
V =	0,0140 m <sup>3</sup>
<b>CÁLCULOS:</b>	
Masa unitaria (peso volumétrico) compacta del árido, kg/m <sup>3</sup>	<b>Mc</b> $\frac{G_c - T}{V} = 1.427,86$
Masa unitaria (peso volumétrico) suelta del árido, kg/m <sup>3</sup>	<b>Ms</b> $\frac{G_s - T}{V} = 1.311,44$

**Fuente:** Laboratorio de Materiales de Construcción y Mecánica de Suelos (UCACUE).

Tabla 9


*Densidad y Capacidad de Absorción del Agregado Fino.*

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA - SEDE AZOGUES</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN</b> LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y MECÁNICA DE SUELOS -LMCMS-	
<b>ENSAYO:</b>	DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA), Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO
<b>PROYECTO:</b>	TRABAJO DE TITULACIÓN "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO EN LA CIUDAD DE AZOGUES, PROVINCIA DEL CAÑAR"
<b>UBICACIÓN:</b>	AZOGUES, CAÑAR
<b>AUTOR:</b>	LUCIANO ROJAS CRUZ
<b>DIRECTOR:</b>	ING. RICARDO ROMERO
<b>CANERA:</b>	MINA "SANTA ISABEL"
<b>NORMA ENSAYO:</b>	NTE INEN 856:2010      ASTM C128
<b>SÍMBOLOS</b>	
	A = Masa de la muestra seca al horno, gr
	B = Masa del picnómetro lleno con agua, hasta la marca de calibración, gr
	C = masa del picnómetro lleno con muestra y agua, gr
	S = Masa de la muestra saturada superficialmente seca, gr
<b>DATOS:</b>	
A =	493,0 gr
B =	1451,2 gr
C =	1760,6 gr
S =	500,0 gr
<b>CÁLCULOS:</b>	
Densidad relativa (gravedad específica) (SH) =	$\frac{A}{B + S - C} = 2,59$
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS) =	$\frac{S}{B + S - C} = 2,62$
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) =	$\frac{A}{B + A - C} = 2,69$
Densidad (SH), kg/m <sup>3</sup> =	$\frac{997,5(A)}{B + S - C} = 2.575,47$
Densidad (SSS), kg/m <sup>3</sup> =	$\frac{997,5(S)}{B + S - C} = 2.617,29$
Densidad aparente (SH), kg/m <sup>3</sup> =	$\frac{997,5(A)}{B + A - C} = 2.679,06$
Absorción % =	$\frac{(S - A)}{A} \times 100 = 1,42\%$

**Fuente:** Laboratorio de Materiales de Construcción y Mecánica de Suelos (UCACUE).

Tabla 10

*Densidad y Capacidad de Absorción del Agregado Grueso.*

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA - SEDE AZOGUES</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN</b> LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y MECÁNICA DE SUELOS -LMCMS-	
<b>ENSAYO:</b>	DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA), Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO
<b>PROYECTO:</b>	TRABAJO DE TITULACIÓN "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO EN LA CIUDAD DE AZOGUES, PROVINCIA DEL CAÑAR"
<b>UBICACIÓN:</b>	AZOGUES, CAÑAR
<b>AUTOR:</b>	LUCIANO ROJAS CRUZ
<b>DIRECTOR:</b>	ING. RICARDO ROMERO
<b>CANERA:</b>	MINA "SANTA ISABEL"
<b>NORMA ENSAYO:</b>	NTE INEN 857:2010      ASTM C127
<b>SÍMBOLOS</b>	
	A = Masa en el aire de la muestra seca al horno, gr
	B = Masa en el aire de la muestra saturado superficialmente seca, gr
	C = Masa aparente en agua de la muestra
<b>DATOS:</b>	
A =	4943,0 gr
B =	5000,0 gr
C =	3256,0 gr
<b>CÁLCULOS:</b>	
Densidad relativa (gravedad específica) (SH) =	$\frac{A}{B - C} = 2,83$
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS) =	$\frac{B}{B - C} = 2,87$
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) =	$\frac{A}{A - C} = 2,93$
Densidad (SH), kg/m <sup>3</sup> =	$\frac{997,5(A)}{B - C} = 2.821,53$
Densidad (SSS), kg/m <sup>3</sup> =	$\frac{997,5(B)}{B - C} = 2.859,81$
Densidad aparente (SH), kg/m <sup>3</sup> =	$\frac{997,5(A)}{A - C} = 2922,73$
Absorción % =	$\frac{(S - A)}{A} \times 100 = 1,15\%$

**Fuente:** Laboratorio de Materiales de Construcción y Mecánica de Suelos (UCACUE).

### 3.3 INTERPRETACIÓN DE DATOS

#### 3.3.1 Interpretación de Datos de los Ensayos Realizados en los Áridos Gruesos y Finos

Luego de haber realizado satisfactoriamente todos los ensayos pertinentes para determinar las propiedades de los áridos gruesos y finos procedentes de la mina de Santa Isabel, se pudo llegar a la conclusión de que poseen las características adecuadas para ser utilizados en los diseños de mezclas de hormigón del presente estudio, puesto que cumplen con los requisitos y se encuentran dentro de los límites establecidos por las Normativas vigentes. La tabla 11 presenta un resumen general de todos los resultados obtenidos de los ensayos.

Tabla 11

*Resultados de los Ensayos Realizados en los Agregados Gruesos y Finos.*

<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA – SEDE AZOGUES FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>		
<b>EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO EN LA CIUDAD DE AZOGUES, PROVINCIA DEL CAÑAR</b>		
<b>AGREGADOS FINOS</b>		
<b>PROPIEDAD MECÁNICA</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>RESULTADO</b>
Módulo de Finura	adimensional	2,66
Masa Unitaria Suelta	kg/m <sup>3</sup>	1442,37
Masa Unitaria Compactada	kg/m <sup>3</sup>	1580,34
Peso Específico	kg/m <sup>3</sup>	2617,29
Capacidad de Absorción	%	1,42
<b>AGREGADOS GRUESOS</b>		
<b>PROPIEDAD MECÁNICA</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>RESULTADO</b>
Tamaño Nominal Máximo	Pulgada	1
Masa Unitaria Suelta	kg/m <sup>3</sup>	1311,44
Masa Unitaria Compactada	kg/m <sup>3</sup>	1427,86
Peso Específico	kg/m <sup>3</sup>	2859,81
Capacidad de Absorción	%	1,15

**Fuente:** Elaboración propia.

### **3.3.2 Interpretación de Datos de la Selección del Tipo de Fibras de Acero**

La fibra de acero debe ser seleccionada directamente en función de las características del árido grueso a emplear en las mezclas de hormigón, ya que como se menciona anteriormente según la norma ACI, el tipo de fibra depende primordialmente del tamaño máximo del agregado, además de esto es menester definir de manera correcta la relación de aspecto de la fibra de acero, se debe tomar en consideración todos los condicionantes para esta elección puesto que será imprescindible para el adecuado diseño del hormigón fibro reforzado.

Para el presente proyecto de investigación se emplearán fibras de acero encoladas y de extremos conformados, es decir en gancho, éstas características permitirán conseguir una apropiada distribución tridimensional de las fibras dentro de la mezcla de hormigón, será homogénea y además se garantizará la debida adherencia a la matriz cementicia, las fibras de acero seleccionados tendrán con una longitud de 60 mm y un diámetro de 0.90 mm consiguiendo de esta manera una esbeltez o relación de aspecto apropiada de 66.6, lo cual representa buenos parámetros para el punto de partida del diseño.

## CAPITULO IV

### 4 DATOS PRELIMINARES DEL DISEÑO

#### 4.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Para el desarrollo de este capítulo se elaboraron dosificaciones de hormigón con un porcentaje de fibra determinado, utilizando fibra de acero encolada con extremos conformados, los mismos que se detallan más adelante.

Entre los primeros datos que se consideraron para el diseño del hormigón se enumeran los siguientes:

- Características de los agregados gruesos y finos.
- Características de las fibras de acero.
- Antecedentes de resultados obtenidos por estudios previos.
- Fundamentos de diseño de hormigón (Método de diseño a emplear y propiedades mecánicas del hormigón).

Todo lo mencionado anteriormente debe estar estipulado dentro de las Normativas vigentes cumpliendo con los respectivos requisitos.

##### **4.1.1 Fibras de Acero Tipo Encoladas Rectas de Extremos Conformados (en Gancho)**

La fibra de acero utilizada en la investigación es la fibra DRAMIX RC-65/60-BN. Es importante tener claro que esta selección de fibra cumple con todos los requisitos para su incorporación en la mezcla de hormigón que se elaborará con los agregados estipulados en el presente estudio; su longitud, esbeltez, etc. Además se tienen resultados de un estudio similar que utiliza este tipo de fibra en particular, por ello también su elección para tratar de tener un rango más alto de resultados positivos para facilitar los respectivos análisis.



**Figura 6.** Fibras de acero DRAMIX RC-65/60-BN.

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.1.2 Justificación del Tipo de Fibra:

“DRAMIX RC-65/60-BN es una fibra de acero trefilado en frío y de extremos conformados, su presentación es de tipo encolado en forma de peine que evita la formación de erizos y garantiza un mezclado homogéneo de las fibras en el hormigón” (Silva, 2014).

Tabla 12

*Propiedades de la fibra de acero.*

<b>FIBRAS DE ACERO DRAMIX RC 65/60-BN</b>	
<b>MATERIAL:</b>	Acero trefilado en frío
<b>FORMA:</b>	Rectas con extremos en gancho
<b>PRESENTACIÓN:</b>	Encoladas
<b>DENSIDAD:</b>	7.85 gr/cm <sup>3</sup>
<b>LONGITUD:</b>	60 mm
<b>DIÁMETRO:</b>	0.90 mm
<b>RENDIMIENTO (l/d):</b>	65
<b>RESISTENCIA A LA TRACCIÓN:</b>	1160 N/mm <sup>2</sup>
<b>MÓDULO DE YOUNG:</b>	210000 N/mm <sup>2</sup>
<b>NORMA:</b>	ASTM A820

**Fuente:** Fabricante IdealAlambrec – Bekaert.

## 4.2 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

La presente investigación busca conseguir la información necesaria para conocer el comportamiento mecánico del hormigón reforzado con fibras de acero al estudiar la influencia de estas sobre sus propiedades mecánicas. Los constructores y la comunidad en general que requieran de la realización de obras pueden llegar a ser muy beneficiados al implementar ésta combinación en las mezclas de hormigón, ya que mejoran sus propiedades y su comportamiento. Por lo que tener un conocimiento más profundo sobre el hormigón reforzado con fibras de acero es muy beneficioso y potenciaría el desarrollo de la construcción local. Los trabajos que deben realizarse en la ciudad y sus alrededores para solucionar muchos de los problemas son precisamente obras que se pueden resolver mediante el uso de fibras de acero, que al colocarlas de manera homogénea en una mezcla de hormigón éstas nos brindan muchas ventajas como se menciona en el numeral 1.2.7.

Además que en la zona de estudio los constructores no consideran el uso de fibras de acero como un elemento de adición para el hormigón por lo que su eventual implementación sería para toda el área de estudio, siendo posible resolver los problemas existentes ya que éste estudio dará conocimiento y orientación técnica a los diferentes constructores sobre la adición de fibras de acero en las mezclas de concreto con agregados locales, de forma que tendrán a la mano los resultados para utilizarlos en beneficio de la sociedad. Adicionalmente podría conllevar a que se realicen futuros estudios en la ciudad basados en éste.

El desarrollo del proyecto de investigación se respaldó en la norma ACI 544 1R, para la elaboración del hormigón reforzado con fibras de acero para conseguir datos experimentales confiables.

### 4.3 FUNDAMENTACIÓN

#### 4.3.1 DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN SEGÚN EL MÉTODO A.C.I.

El diseño de mezclas de hormigón se puede llevar a cabo mediante el uso de varios métodos existentes en el campo de la tecnología de hormigones, de los cuales se utilizó el método A.C.I que se encuentra en la norma (A.C.I 211.1 – 98) para el presente proyecto.

Sera necesario establecer la resistencia de diseño ( $f'_{cr}$ ) requerida para esta investigación, su cálculo viene dado en la Tabla 13.

Tabla 13

*Resistencia de Diseño.*

$f'_c$	$f'_{cr}$
< 210	$f'_c + 70$
210 – 350	$f'_c + 84$
> 350	$f'_c + 98$


Fuente: Adaptado del A.C.I. 211.1

##### 4.3.1.1 DATOS PRELIMINARES:

En el momento de llevar a cabo un diseño de mezclas de hormigón, las características físicas y mecánicas de los áridos definirán cual será la proporción con la que se manejarán los elementos que componen al hormigón para alcanzar los resultados deseados, sin embargo para todo buen diseño se debe partir definiendo algunos datos preliminares, que son unos parámetros que se consideran en el estudio como los tipos de elementos que se fabricaron, la densidad del cemento utilizado, el método de fabricación, las condiciones y niveles de exposición, los tipos de agregados, la resistencia requerida, si los elementos llevan aire incorporado, entre otros, para que se tenga un mayor entendimiento de las condiciones con las que se llevó a cabo dicho estudio. Se estipulan estos datos en la siguiente tabla:

Tabla 14

*Datos preliminares de diseño.*

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA - SEDE AZOGUES</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN</b> LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y MECÁNICA DE SUELOS -LMCMS-	
<b>DOCUMENTO:</b>	DISEÑO DE MEZCLA PARA CONCRETO DE CEMENTO PORTLAND
<b>PROYECTO:</b>	TRABAJO DE TITULACIÓN "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO EN LA CIUDAD DE AZOGUES, PROVINCIA DEL CAÑAR
<b>UBICACIÓN:</b>	AZOGUES, CAÑAR
<b>CONSTRUCTOR</b>	LUCIANO ROJAS CRUZ
<b>FISCALIZACIÓN:</b>	ING. RICARDO ROMERO
<b>CANTERA:</b>	MINA "SANTA ISABEL"
<b>MÉTODO DISEÑO:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> A.C.I 211.1 <input type="checkbox"/> Road Note Laboratory
<b>1.- DATOS PRELIMINARES</b>	
TIPO DE ELEMENTO:	8 Probetas cilíndricas y 4 vigas de hormigón
DENSIDAD DEL CEMENTO UTILIZADO:	3140 kg/m <sup>3</sup>
MENOR ESPACIAMIENTO ENTRE VARILLAS:	No aplica
ESPESOR DE LA LOSA:	No aplica
AIRE INCLUIDO:	NO
MÉTODO DE FABRICACIÓN:	Dosificación en volumen usando concretera
CONDICIONES ESPECIALES DE EXPOSICIÓN:	N/D
NIVEL DE EXPOSICIÓN A SULFATOS:	No se disponen datos relativos al medio ambiente. No se considera como ambiente de alta concentración de sulfatos
TIPO DE AGREGADO FINO:	Natural de río, redondeado
TIPO DE AGREGADO GRUESO:	Natural de río, triturado
RESISTENCIA REQUERIDA POR EL PROYECTO:	210 Kg/cm <sup>2</sup> (21 MPa)

**Fuente:** Laboratorio de Materiales de Construcción y Mecánica de Suelos (UCACUE).

#### 4.3.1.2 SELECCIÓN LA CONSISTENCIA O ASENTAMIENTO:

En este método se puede elegir el asentamiento del hormigón según el elemento de la obra a construir, los cuales vienen indicados en la Tabla 15.

Debemos recordar que se puede elegir libremente un valor de asentamiento inicial, ya que dicha elección no está ligada con ningún condicionante y su valor real se obtendrá luego de realizar el ensayo de asentamiento. Es claro que dicha selección inicial se la debe hacer con criterio, por lo general el valor del asentamiento lo establecen las entidades que solicitan de la construcción de obras y es algo que se debe cumplir por requerimiento de superiores.

Tabla 15

*Asentamientos recomendados para diferentes elementos constructivos.*

TIPOS DE CONSTRUCCION	REVENIMIENTO (cm)	
	MAXIMO	MINIMO
- Zapatas y muros de cimentación reforzados	8	2
- Zapatas simples, cajones y muros de subestructura	8	2
- Vigas y muros reforzados	10	2
- Columnas	10	2
- Pavimentos y losas	8	2
- Concreto ciclópeo y masivo	5	2

Fuente: Adaptado del A.C.I 211.1

2.- ELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO	
<input type="checkbox"/>	Requerida por el cliente
<input checked="" type="checkbox"/>	Sugerida en función del tipo de elemento
<b>CONSISTENCIA DEL CONCRETO</b>	<b>FLUIDA</b>
<b>ASENTAMIENTO DE DISEÑO:</b>	120 +/- 20 mm

*Figura 7.* Elección del Asentamiento.

Fuente: Laboratorio de Materiales de Construcción y Mecánica de Suelos (UCACUE).

Se consideró que la consistencia del hormigón a elaborar debía ser fluida por lo que se eligió un asentamiento entre 80 mm y 100 mm para el diseño de mezclas planteado en este trabajo. Este asentamiento abarca casi todos los elementos de la Tabla 15.

#### 4.3.1.3 SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL ÁRIDO:

El tamaño máximo del agregado está condicionado por las dimensiones de la estructura, teniéndose en cuenta los siguientes criterios:

- No debe exceder a un quinto de la menor dimensión del elemento a construir
- No debe exceder a las tres cuartas partes del espaciamiento libre entre varillas
- No debe exceder a un tercio del espesor de las losas.

3.- ELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO				
	TMA =	1	25.0	mm

**Figura 8.** Elección del tamaño máximo del agregado.

**Fuente:** Laboratorio de Materiales de Construcción y Mecánica de Suelos (UCACUE).

#### 4.3.1.4 ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE:

Esta estimación se la puede realizar tomando en cuenta 2 variables, que son: El tamaño máximo del agregado y los niveles de exposición a los que se encuentran expuestos estos.

Nos basamos en el siguiente cuadro para dicha estimación como se puede observar en la figura a continuación, en donde se observará además que se definen algunos parámetros adicionales para el cálculo más aproximado del contenido de aire:

4.- ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE					
CONTENIDO APROXIMADO DE AIRE EN EL CONCRETO PARA VARIOS GRADOS DE EXPOSICIÓN Y TAMAÑOS DEL AGREGADO					
TAMAÑO MAX AGREGADO GRUESO		PORCENTAJE PROMEDIO APROXIMADO DE AIRE ATRAPADO	PORCENTAJE PROMEDIO TOTAL DE AIRE RECOMENDADO PARA VARIOS GRADOS DE EXPOSICIÓN		
Pulg	mm		Suave	Moderado	Severo
3/8	9,5	3,0	4,5	6,0	7,5
1/2	12,5	2,5	4,0	5,5	7,0
3/4	19	2,0	3,5	5,0	6,0
1	25	1,5	3,0	4,5	6,0
1 1/2	38	1,0	2,5	4,5	5,5
2	50,8	0,5	2,0	4,0	4,0
3	76,1	0,2	1,5	3,5	4,5
6	152,4	0,2	1,0	3,0	4,0

TAMAÑO MÁXIMO DEL ÁRIDO GRUESO (EN PULGADAS)	1
PORCENTAJE DE AIRE ATRAPADO	1.5
LLEVA AIRE INCLUIDO?	NO
NIVEL EXPOSICIÓN	MODERADO
PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO	0.0
Volumen de aire por volumen unitario =	0.015 m3

**Figura 9.** Estimación del contenido de aire.

**Fuente:** Laboratorio de Materiales de Construcción y Mecánica de Suelos (UCACUE).

Nótese que a pesar que se consideró un nivel de exposición “moderado” en el respectivo cálculo, éste parámetro no influye en el resultado final, ya que como se indicó en los datos preliminares que se estipularon en el primer paso, no se definió ninguna condición especial de exposición, ni nivel de exposición a sulfatos, por lo que el valor que se toma directamente de la tabla para estimar “el contenido aproximado de aire” es el de 1.5, que corresponde al porcentaje promedio de aire atrapado para un tamaño máximo de árido grueso de 1 pulgada, que es el TMN del presente estudio y consecuentemente se determinó el volumen de aire únicamente a partir de este valor despreciando las condiciones antes mencionadas e incluso el aire incluido.

Por lo general la inclusión de aire en las mezclas de hormigón se la realiza debido a algún requerimiento de la entidad que desea llevar a cabo la construcción de una obra en particular, en este caso el presente estudio no está ligado con ninguna entidad particular o privada por lo que no se considera la incorporación voluntaria del aire.

#### **4.3.1.5 ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA:**

El cálculo del agua de mezclado viene sujeto de igual manera de algunas variables que son el asentamiento elegido, el tamaño máximo del árido grueso a utilizar y la consideración de un concreto con o sin aire incorporado, naciendo de ésta manera una cuarta variable que llegaría a ser el porcentaje de aire atrapado en el caso de considerar un concreto sin aire incorporado, y el nivel de exposición cuando se toma en cuenta un concreto con aire incorporado, estos resultados vienen dados en la Tabla 16.

Tabla 16

Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados.

ASENTAMIENTO O SLUMP (mm)		Agua en $lt/m^3$ de concreto para los tamaños máximos de agregados gruesos y consistencia indicados.							
		10mm (3/8")	12.5mm (1/2")	20mm (3/4")	25mm (1")	40mm (1½")	50mm (2")	70mm (3")	150mm (6")
<b>CONCRETOS SIN AIRE INCORPORADO</b>									
30 a 50 (1" a 2")		205	200	185	180	160	155	145	125
80 a 100 (3" a 4")		225	215	200	195	175	170	160	140
150 a 180 (6" a 7")		240	230	210	205	185	180	170	---
Cantidad aproximada de aire atrapado (%).		3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
<b>CONCRETOS CON AIRE INCORPORADO</b>									
30 a 50 (1" a 2")		180	175	165	160	145	140	135	120
80 a 100 (3" a 4")		200	190	180	175	160	155	150	135
150 a 180 (6" a 7")		215	205	190	185	170	165	160	---
Contenido total de aire incorporado (%), en función del grado de exposición.	Exposición suave	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5*	1.0*
	Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5*	3.0*
	Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5*	4.0*

Fuente: Adaptado del A.C.I 211.1

En este paso se seleccionó la cantidad de agua de mezclado basándose en la Tabla 16, tomando en cuenta las variables antes mencionadas, cuyos valores se identifican como sigue; Asentamiento elegido de 80 a 100 mm, TMA de 1 pulgada, y Cantidad aproximada de aire atrapado del 1.5%. De esta manera con el uso de la tabla mencionada la cantidad de agua de mezcla es la siguiente:

$$\text{Cantidad de Agua} = 195 \frac{\text{lt de agua}}{\text{m}^3 \text{ de concreto}}$$

#### 4.3.1.6 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE DISEÑO:

Como se mencionó al principio del numeral 4.3.1 se debe determinar la resistencia de diseño, ya que para este estudio no existen datos estadísticos, se parte de la tabla de sobre diseño del

A.C.I, el cual respecta a la Tabla 13, y como la resistencia requerida para este estudio se lo ha definido de 210 kg/cm<sup>2</sup> pues el valor de la resistencia de diseño es el que se muestra en la Figura 9:

<b>6.- DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE DISEÑO <math>f_{cr}</math></b>	
En razón de que no existen datos estadísticos, se parte de la tabla de sobrediseño de ACI	
$f'_c =$	210 Kg/cm <sup>2</sup>
Factor sobrediseño =	84 Kg/cm <sup>2</sup>
$f_{cr} =$	294 Kg/cm <sup>2</sup>

*Figura 10.* Determinación de la Resistencia de Diseño.

**Fuente:** Laboratorio de Materiales de Construcción y Mecánica de Suelos (UCACUE).

#### 4.3.1.7 SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO (211.1, ACI):

La relación a/c es uno de los factores más importantes en el diseño de mezclas y su elección se determina básicamente por requisitos de resistencia, durabilidad, impermeabilidad y acabado del hormigón.

El cálculo de la relación agua-cemento viene sujeto a dos variables que son la resistencia de diseño y si va con aire incluido o no, estos resultados vienen dados en la Tabla 17. Todos los diseños de mezclas de concreto se hicieron con la variable “sin aire incluido”.

Tabla 17

Relación agua-cemento según la resistencia a compresión.

Resistencia a Compresión a los 28 días, kg/cm <sup>2</sup> (MPa)	Relación agua - material cementante en masa	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
450 (45)	0.38	0.31
400 (40)	0.43	0.34
350 (35)	0.48	0.40
300 (30)	0.55	0.46
250 (25)	0.62	0.53
200 (20)	0.70	0.61
100 (10)	0.80	0.72

Fuente: Adaptada del ACI. 211.1 y del ACI 211.3

Nota: La resistencia se basa en cilindros sometidos al curado húmedo durante 28 días, de acuerdo con la ASTM C 31. La dependencia asume agregados con tamaños máximos nominales de 19 a 25 mm.

7.- SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA CEMENTO		
Al no estar expuesto a condiciones especiales, se escoge la relación Agua/Cemento por RESISTENCIA		
<b>TABLE A1.5.3.4(a) — RELATIONSHIPS BETWEEN WATER-CEMENT RATIO AND COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE (SI)</b>		
Compressive strength at 28 days, MPa*	Water-cement ratio, by mass	
	Non-air-entrained concrete	Air-entrained concrete
40	0.42	—
35	0.47	0.39
30	0.54	0.45
25	0.61	0.52
20	0.69	0.60
15	0.79	0.70
Valor de resistencia (fcr) requerido	294 Kg/cm <sup>2</sup>	
Relación A/C adoptada	<b>0.55</b>	

Figura 11. Selección de la Relación Agua-Cemento.

Fuente: Laboratorio de Materiales de Construcción y Mecánica de Suelos (UCACUE).

#### 4.3.1.8 CALCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO

El contenido de cemento se calcula con la relación agua-cemento, despejando de la siguiente ecuación:

$$\frac{a}{c} = \frac{a \left( \frac{kg}{m^3} \right)}{c \left( \frac{kg}{m^3} \right)}$$

$$c \left( \frac{kg}{m^3} \right) = \frac{a \left( \frac{kg}{m^3} \right)}{\frac{a}{c}}$$

Dónde:

a/c = relación agua-cemento.

a = cantidad de agua por m<sup>3</sup> de concreto.

c = cantidad de cemento por m<sup>3</sup> de concreto.

8.- CÁLCULO DE LA CUANTÍA DE CEMENTO				
$C = \frac{AGUA (KG)}{A/C}$	=	$\frac{195}{0.55}$	=	<b>354.55</b>
<i>Se usarán 354.55 kg de cemento por cada m<sup>3</sup> de concreto</i>				

**Figura 12.** Cálculo de la cuantía de cemento.

**Fuente:** Laboratorio de Materiales de Construcción y Mecánica de Suelos (UCACUE).

#### 4.3.1.9 DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE CEMENTO POR VOLUMEN DE CONCRETO:

Luego de determinar la cantidad de cemento para un m<sup>3</sup> de concreto, se calcula el volumen de cemento correspondiente. Este es igual a la cantidad de cemento por m<sup>3</sup> de concreto dividido para la densidad del cemento a utilizarse.

Para esto se debe conocer la densidad del cemento, que para el cemento Guapán Portland Puzolánico Tipo IP es 3140 kg/ m<sup>3</sup>.

$$\text{volumen cemento} = \frac{\text{cantidad de cemento (kg/m}^3 \text{ de concreto)}}{\text{densidad del cemento en kg/m}^3}$$

9.- DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE CEMENTO POR VOLUMEN DE CONCRETO				
VOLUMEN DE CEMENTO =	$\frac{\text{Cuantía de cemento (kg)}}{\text{Dens. cemento (kg/m}^3)}$	=	$\frac{355}{3140}$	=
				<b>0.113 m<sup>3</sup></b>

**Figura 13.** Determinación del volumen de cemento por volumen de concreto.

**Fuente:** Laboratorio de Materiales de Construcción y Mecánica de Suelos (UCACUE).

#### 4.3.1.10 ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DEL ÁRIDO GRUESO Y FINO

Existen varios métodos para la estimación del contenido del agregado grueso.

El comité ACI 211.1 ha desarrollado un método que se usa únicamente cuando se tiene agregados que se ajustan a la norma (ASTM C 33) o en nuestro caso la norma (NTE INEN 872:2011).

Cuando no cumplen este requisito, se pueden usar métodos que permiten ajustar la granulometría del conjunto a granulometrías ideales (Fuller, Bolomey, etc.).

Sin embargo en éste caso si se cumplieron los requisitos por lo que continuamos con el método que nos propone el A.C.I.

La “tabla 6.3.6” que se encuentra en la Figura 14, corresponde al “Volumen del agregado grueso por volumen de concreto” descrita por el ASTM C 29, cuyo valor se puede hallar a partir de dos parámetros, el Tamaño Máximo del Agregado grueso y el módulo de Finura del árido fino, cuyos valores se definieron anteriormente y son: 1 pulgada y 2.66 respectivamente.

Nótese que en dicha tabla no se encuentra estipulado el valor del módulo de finura hallado en el estudio (2.66), por lo que se realiza una interpolación para hallar el valor exacto del volumen del agregado grueso por volumen de concreto que se desea definir.

El resultado obtenido tras realizar dicho procedimiento se puede observar a continuación en la Figura 14:

10.- VOLUMEN DE LOS AGREGADOS				
<b>Table 6.3.6 – Volume of coarse aggregate per unit of volume of concrete</b>				
Nominal maximum size of aggregate, in.	Volume of oven-dry-rodded coarse aggregate* per unit volume of concrete for different fineness moduli of fine aggregate†			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4	0.66	0.64	0.62	0.60
1	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2	0.75	0.73	0.71	0.69
2	0.78	0.76	0.74	0.72
3	0.82	0.80	0.78	0.76
6	0.87	0.85	0.83	0.81

\*Volumes are based on aggregates in oven-dry-rodded condition as described in ASTM C 29.  
 †These volumes are selected from empirical relationships to produce concrete with a degree of workability suitable for usual reinforced construction. For less workable concrete, such as required for concrete pavement construction, they may be increased about 10 percent. For more workable concrete see Section 6.3.6.1.  
 ‡See ASTM C 1.36 for calculation of fineness modulus.

Volumen de árido grueso por volumen unit. de hormigón (b/b0)=	<b>0.68</b>
---	-------------

**Figura 14.** Volumen del agregado grueso por volumen de concreto.

**Fuente:** Laboratorio de Materiales de Construcción y Mecánica de Suelos (UCACUE).

**Nota:** \*Los volúmenes son basados en áridos rodados con condiciones de secado al horno como se describe en la ASTM C 29.

Estos volúmenes son seleccionados de relaciones empíricas para producir un concreto con un grado de trabajabilidad adecuado para construcciones con refuerzos comunes. Para concretos menos trabajables, tales como los requeridos para la construcción de pavimentos de concreto, los volúmenes se pueden incrementar en alrededor del 10 por ciento. Para concretos más trabajables observar la sección 6.3.6.1.

Ver ASTM C 1.36 para el cálculo del módulo de finura.

El siguiente paso es la determinación del volumen de agregado grueso por metro cúbico de concreto, efecto para el cual utilizamos la siguiente fórmula que está en función de la masa unitaria y la densidad de agregado grueso:

$$b = \left(\frac{b}{b_0}\right) \cdot b_0$$

Dónde:

$$b = (0,65) \cdot b_0$$

$b_0$  = Masa Unitaria del agregado grueso dividido para la densidad del agregado grueso

El procedimiento de cálculo realizado para obtener el dato mencionado puede observarse en la Figura 15 que se muestra a continuación:

Determinación del volumen de agregado grueso por m3 de concreto:			
		$b = \left(\frac{b}{b_0}\right) \cdot b_0$	
	$b_0 =$	0.50	kg/m <sup>3</sup>
		$b = (0.65) \cdot b_0$	
	$b =$	<b>0.340</b>	
	Vol. A. G. =	<b>0.340</b>	m <sup>3</sup>
Volumen de árido fino = 1- vol a.g.-vol cemento-vol. Aire - vol. Agua			<b>0.677</b>
	Vol. A. F. =	<b>0.337</b>	m <sup>3</sup>
PESO DEL CONJUNTO DE AGREGADOS =			<b>Porcentaje de Áridos gruesos y finos</b>
	Peso árido grueso =	<b>972.335</b>	kg
	Peso árido fino =	<b>882.250</b>	kg
			<b>52.43</b> % grueso
			<b>47.57</b> % fino

**Figura 15.** Determinación de los volúmenes, pesos y porcentajes de los áridos gruesos y finos.

**Fuente:** Laboratorio de Materiales de Construcción y Mecánica de Suelos (UCACUE).

Una vez calculado el volumen de agregado grueso por volumen de concreto, se halla el volumen del árido fino al restar 1 metro cúbico de la mezcla total menos los siguientes volúmenes anteriormente hallados:

- El volumen de agregado grueso.

- El volumen de cemento.
- El volumen de aire.
- El volumen de agua

Obteniendo de esta manera el volumen del árido fino como se puede observar en la Figura 15. Los pesos de los áridos son calculados al multiplicar el valor del volumen por la respectiva densidad de cada agregado y finalmente se hace una relación entre las cantidades de agregado grueso y fino para determinar sus porcentajes. Mismos que son idóneos para la elaboración de un hormigón reforzado con fibras de acero.

A continuación se calcula el peso de cada componente por metro cúbico de concreto para realizar la respectiva dosificación por volumen y de ésta manera definir aparte de los volúmenes necesarios de cada uno de los componentes, también el número de parihuelas que se necesitan, cuyas dimensiones son de 30x30x20 cm.

Por lo que entre las consideraciones que se deben hacer para este cálculo no está solo la de tener en cuenta las densidades de los agregados, sino también la del cemento, todos estos valores son usados en la expresión que determina de forma directa los pesos finales que añadiremos en la mezclas de hormigón con y sin fibras de acero que se realizaron en esta investigación.

Los resultados de estos cálculos se pueden observar a continuación en la Figura 16:

<b>PESO DE CADA COMPONENTE POR M3 DE CONCRETO</b>			
Cemento		354.55 kg	
Agregado grueso		972.34 kg	
Agregado fino		882.25 kg	
Agua		195.00 kg	
Aditivo (plastificante)		2.13 kg	
<b>DOSIFICACIÓN POR VOLÚMEN</b>			
Cemento		1 saco 50 kg	
Agregado grueso	0.105 m3		<b>137.1224651</b> kg
Agregado fino	0.086 m3		<b>124.418333</b> kg
Agua	27.5 lt		
Aditivo	No se utilizará		
<b>PARIHUELAS</b>			
Dimensiones cajón agregado grueso			
a =	<b>0.3</b>		
b =	<b>0.3</b>		
c =	<b>0.2</b>	m3	
Volumen=	0.0180 m2		
<b>Nº cajones para el agregado grueso</b>		<b>5.8</b>	
Dimensiones cajón agregado fino			
a =	<b>0.3</b>		
b =	<b>0.3</b>		
c =	<b>0.2</b>	m3	
Volumen=	0.018 m3		
<b>Nº cajones para el agregado gueso</b>		<b>4.8</b>	

**Figura 16.** Peso de cada componente por m3 de concreto, Dosificación por volumen y número de parihuelas.  
**Fuente:** Laboratorio de Materiales de Construcción y Mecánica de Suelos (UCACUE).

#### 4.3.1.11 AJUSTES POR HUMEDAD DEL AGREGADO

Se conoce perfectamente que al calcular el agua de mezclado, ésta no llega a ser igual que el agua que los agregados absorben.

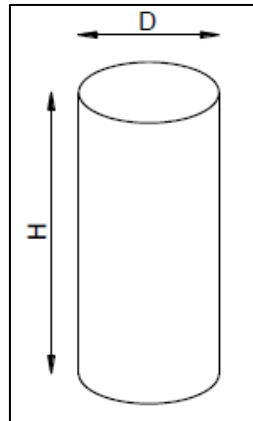
Los agregados por su esponjosidad y capacidad para absorber siempre tienen un grado de humedad mayor o menor al estado saturado superficialmente seco. En la presente investigación se trabajó con los agregados en estado saturado superficialmente seco, y no se efectuó un ajuste de esta humedad que sea considerable.

#### 4.3.1.12 Cálculo de la Dosificación de Hormigón para Cilindros y Vigas

##### Dosificación para Cilindros (DHC)

$$DHC = \text{Dosificación al peso} * VCH$$

Datos:

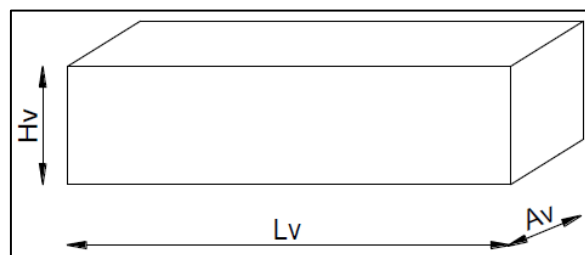


**Figura 17.** Esquema de Cilindro de Hormigón.  
**Fuente:** Elaboración Propia.

- Números de cilindros (# Cilindros)
- Diámetro de Cilindro (D)
- Altura de Cilindro (H)
- Volumen de Cilindros de Hormigón (VCH)

$$VCH = \left( \frac{\pi * D^2}{4} * H \right) * \# \text{ Cilindros}$$

##### Dosificación para Vigas (DHV)



**Figura 18.** Esquema de Viga de Hormigón.  
**Fuente:** Elaboración propia.

- Números de vigas (# Vigas)
- Longitud de viga (Lv)
- Ancho de viga (Av)
- Altura de viga (Hv)
- Volumen de vigas (VVH)

$$VVH = (Lv * Av * Hv) * \# Vigas$$

### 4.3.2 Porcentaje de Fibra de Acero en el Hormigón

El porcentaje de fibra de acero representa el contenido de fibras en la mezcla y es expresado generalmente como una fracción del volumen de hormigón.

El *American Concrete Institute* A.C.I 544-1R, mediante su Reporte del Hormigón Reforzado con Fibras, publica que las concentraciones típicas de fibra utilizadas para el Hormigón Reforzado con Fibras de Acero está comprendida entre un 0,25% y el 1,5% del volumen de hormigón, considerando que la adición de fibras de acero reduce la consistencia de la mezcla.

#### 4.3.2.1 Cálculo de la Dosificación de Fibra de Acero para Cilindros y Vigas

##### Dosificación de Fibra de Acero para Cilindros

##### DATOS:

- Diámetro del cilindro (D)
- Altura del cilindro (H)
- Número de cilindros por cada concentración de fibra (# Cilindros)
- Porcentaje de Fibra de Acero en el Hormigón (% Fa)
- Densidad de Fibra de Acero (DFa)
- Densidad del Hormigón (DH)

**DESARROLLO****1. Volumen del Cilindro de Hormigón (VCH)**

$$VCH = \left( \frac{\pi * D^2}{4} \right) * H$$

**2. Masa del Cilindro de Hormigón(MCH)**

$$MCH = VCH * DH$$

**3. Masa de Hormigón necesario para muestras cilíndricas (MHC)**

$$MHC = MCH * \# \text{ Cilindros}$$

**4. Volumen de Hormigón necesario para muestras cilíndricas (VHC)**

$$VHC = \frac{MHC}{DH}$$

**5. Volumen de la Fibra de Acero en el Hormigón (VF<sub>a</sub>)**

La cantidad de fibra de acero debe añadirse en función del volumen de hormigón por lo tanto se tiene que:

$$1 \text{ m}^3 \text{ ---- } 100\%$$

$$x \text{ ---- } \% \text{ VF}_a$$

$$x = \% \text{ VF}_a$$

**6. Masa o concentración de la Fibra de Acero en el Hormigón (MF<sub>a</sub>)**

$$MF_a = VF_a * DF_a$$

**7. Cantidad de Fibra de Acero para muestras cilíndricas(CF<sub>a</sub>C)**

$$CF_aC = MF_a * VHC$$

## Dosificación de Fibra de Acero para Vigas

### DATOS:

- Longitud de la Viga ( $L_v$ )
- Ancho de la Viga ( $A_v$ )
- Alto de la Viga ( $H_v$ )
- Número de vigas por cada concentración de fibra (# Vigas)
- Porcentaje de Fibra de Acero en el Hormigón (% Fa)
- Densidad de Fibra de Acero (DFa)
- Densidad del Hormigón (DH)

### DESARROLLO

#### 1. Volumen de la viga de Hormigón (VVH)

$$VVH = (L_v * A_v) * H_v$$

#### 2. Masa de la viga de Hormigón (MVH)

$$MVH = VVH * DH$$

#### 3. Masa de Hormigón necesario para muestras de vigas(MHV)

$$MHV = MVH * \# Vigas$$

#### 4. Volumen de Hormigón necesario para muestras de vigas(VHV)

$$VHV = \frac{MHV}{DH}$$

#### 5. Volumen de la Fibra de Acero en el Hormigón (VF<sub>a</sub>)

La cantidad de fibra de acero debe añadirse en función del volumen de hormigón por lo tanto se tiene que:

$$1 \text{ m}^3 \text{ ---- } 100\%$$

$$x \text{ ---- } \% \text{ VF}_a$$

$$x = \% \text{ VF}_a$$

#### **6. Masa o concentración de la Fibra de Acero en el Hormigón (MFa)**

$$MFa = VFa * DFa$$

#### **7. Cantidad de Fibra de Acero para muestras de vigas (CFaV)**

$$CFaV = MFa * VHV$$

### **4.3.3 Propiedades Mecánicas del Hormigón en Estado Fresco y Endurecido**

Son varias las propiedades que presenta el hormigón tanto en estado fresco como en estado endurecido y dichas propiedades pueden ser evaluadas de tal manera que nos permite entender el comportamiento real del hormigón y la manera de manipular a este para darle un uso particularmente deseado satisfaciendo necesidades requeridas.

#### **Procesos para Determinar las Propiedades del Concreto en Estado Fresco:**

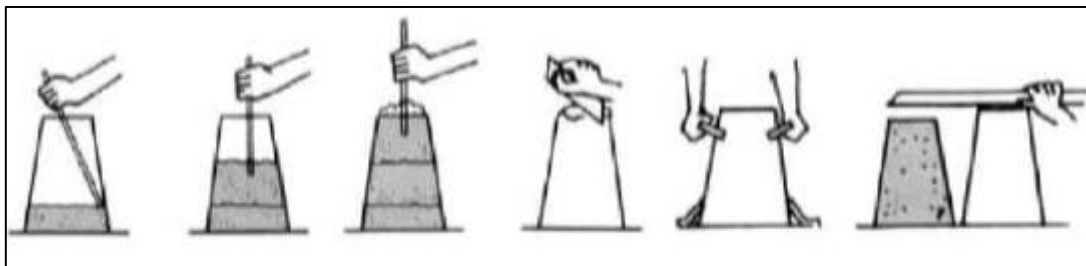
##### **4.3.3.1 Determinación de la Docilidad**

Para determinar la docilidad en la presente investigación se realizará el ensayo de asentamiento mediante el cono de Abrams especificado en la norma NTE INEN 1578 y ASTM C143, para un asentamiento de 8 a 10 cm.

#### 4.3.3.2 Determinación de la Consistencia

Para determinar el valor que cuantifique la consistencia del hormigón, la norma NTE INEN 1578 establece los indicadores para el ensayo de asentamiento con el Cono de Abrams, manifestando que es necesario seguir los siguientes pasos:

- Colocar el cono sobre una bandeja o placa rígida.
- Llenar el cono en tres capas, compactando cada una de ellas con una varilla metálica de 16 mm de punta redonda, dando 25 golpes por capa.
- Enrasar la superficie retirando el exceso de hormigón.
- Sacar el molde con cuidado en dirección vertical. Esta operación debe realizarse en  $5 \pm 2$  segundos sin mover el hormigón en ningún momento.
- El asentamiento se mide como indica la Figura 19. Si la superficie del cono es irregular, el asentamiento se determina midiendo la diferencia de altura del molde y la del punto medio de la parte superior de la muestra después del ensayo (NTE INEN 1578, 2010).



**Figura 19.** Procedimiento de medición del Asentamiento.  
**Fuente:** Rodríguez, A. “Manual de Prácticas de Laboratorio de Concreto”

#### 4.3.3.3 Determinación de la Homogeneidad

La Homogeneidad es la característica que demuestra la distribución de los componentes del hormigón dentro de su masa.

La homogeneidad puede verse afectada en los hormigones reforzados con fibras, debido a lo siguiente:

- **Segregación de los componentes:** “Es la separación no intencional de los constituyentes del concreto o de las partículas de un agregado, que causa una falta de uniformidad en su distribución” (NTE INEN 1762, 2014).
- **Formación de bolas o erizos:** se produce por una concentración local de fibras entrecruzadas.
- **Exudación:** “Flujo del agua de la mezcla del concreto fresco, a la superficie causado por el asentamiento de los materiales sólidos de la mezcla” (NTE INEN 1762, 2014).

Para que las fibras de acero consigan dispersarse uniformemente dentro de la masa de hormigón se seguirán las recomendaciones dadas por el código ACI 544 3R descritas en su primer método de mezclado para un hormigón reforzado con fibras, el cual sugiere incorporar las fibras dentro del mezclador al final, una vez que se hayan amasado adecuadamente los componentes básicos del concreto (ACI 544.3R, 2008).

El código también recomienda que el tambor deba girar lo suficientemente rápido para llevar las fibras lejos del punto de concentración en el momento de la incorporación de las mismas. Una vez que el total de fibras hayan sido introducidas en el mezclador, el equipo debe ser regulado para alcanzar una velocidad nominal de mezclado y conseguir que el compuesto sea amasado por un mínimo de 40 revoluciones (ACI 544.3R, 2008).

#### **4.3.3.4 Determinación de la Densidad del Hormigón Fresco**

“La norma NTE INEN 1579 establece el método de ensayo para determinar la densidad del hormigón recién mezclado. El mismo que indica que una vez determinada la masa del hormigón compactada dentro de un recipiente, se relaciona para el volumen del mismo

obteniéndose de esta forma la densidad del hormigón, utilizando la siguiente fórmula” (Silva, 2014).

$$D_{HF} = \frac{Mc - Mm}{Vm}$$

Dónde:

**DHF** = Densidad del hormigón fresco, (kg/m<sup>3</sup>)

**Mc** = Masa del recipiente de medición lleno con hormigón, (kg)

**Mm** = Masa del recipiente de medición, (kg)

**Vm** = Volumen del recipiente de medición, (m<sup>3</sup>)

#### **Procesos para Determinar las Propiedades del Concreto en Estado Endurecido:**

##### **4.3.3.5 Resistencia a la Compresión del Hormigón**

“La resistencia a la compresión ( $f'c$ ) es considerada como la propiedad mecánica más relevante que desarrolla el hormigón endurecido y se determina, según la norma NTE INEN 1573, aplicando una carga axial de compresión a cilindros moldeados a una velocidad establecida hasta que ocurra la falla total o parcial del espécimen” (Silva, 2014).

Una vez concluido con el ensayo se procede a aplicar la siguiente expresión para conseguir así la resistencia característica:

$$f'c = \frac{Pmáx}{\frac{\pi * D^2}{4}}$$

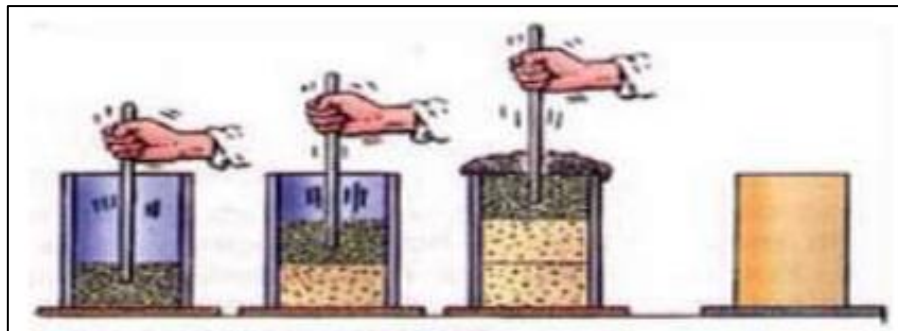
Dónde:

**Pmáx** = Carga máxima registrada en el ensayo

**D** = Diámetro de la sección transversal del espécimen

$f'_c$  = Resistencia a la compresión del Hormigón

Las probetas cilíndricas que se utilizarán para este ensayo deberán cumplir con una altura (H) de 300 mm y un Diámetro (D) de 150 mm que según la norma NTE INEN 1576, para la toma de muestras es necesario contar con moldes metálicos, que no permitan el desalojo del hormigón ni la pérdida de agua, los mismos que deben ser llenados en tres capas, cada capa compactada con una varilla de punta redondeada con una longitud de 400 mm a 600 mm que es la recomendada ya que cumple con varias normas, y diámetro de  $16 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ , con un número de 25 golpes, además se deberá golpear de 10 a 15 veces a los lados del molde cilíndrico por cada capa, con un martillo de goma de  $0.6 \text{ kg} \pm 0.2 \text{ kg}$ , estos golpes tienen como único propósito cerrar cualquier agujero dejado por la varilla y eliminar cualquier burbuja grande de aire que hubiere sido atrapada (NTE INEN 1576, 2011).



*Figura 20.* Toma de muestras cilíndricas de hormigón.

**Fuente:** <http://slgarro.blog.com/2012/02/15/probetas-cilindricas-de-hormigon/>

Una vez transcurrido 24 horas de haber tomado las muestras, como siguiente paso es el desmolde y posteriormente a ello acondicionar el cilindro para su mantenimiento, curado del concreto según la norma (NTE INEN 2528, 2010).

#### **4.3.3.6 Resistencia a la Tracción Indirecta o Tracción por Compresión**

Se moldea la probeta de acuerdo a la norma (NTE INEN 1576, 2011), para el presente estudio las probetas cilíndricas que se utilizarán para este ensayo tienen una altura (H) de 200

mm y un Diámetro (D) de 100 mm que cumplen con la norma (ASTM C470/C470M, 2015), los mismos que deben ser llenados en dos capas, cada capa compactada con una varilla de punta redondeada con una longitud de 100 mm mayor que la profundidad del molde en el que se realice la compactación y diámetro de 10 mm  $\pm$  2 mm, con un número de 25 golpes, además se deberá golpear de 10 a 15 veces a los lados del molde cilíndrico por cada capa, con un martillo de goma de 0.6 kg  $\pm$  0.2 kg, con el mismo propósito mencionado para el moldeo de las muestras cilíndricas de 150 mm de diámetro por 300 mm de altura (NTE INEN 1576, 2011). El ensayo de tracción indirecta consiste en someter al cilindro de hormigón a compresión diametral. Una de las caras de la muestra permanece apoyada mientras que la diametralmente opuesta recibe la carga del ensayo. Esta aplicación de carga produce una distribución de tensiones transversales a lo largo del eje terminando con la rotura por tracción de la muestra (ASTM A496, 2007).

A fin de distribuir uniformemente la carga, se interponen entre el cilindro de hormigón y las placas superior e inferior de apoyo de la máquina de ensayo, pequeños listones de cartón o de madera libres de imperfecciones, de 4 mm de espesor, 25 mm de ancho aproximadamente y la longitud igual o ligeramente mayor que la del cilindro. Los listones deben utilizarse una sola vez. “Se coloca un listón de apoyo a lo largo del centro de la placa inferior, a continuación se sitúa el cilindro sobre el listón de tal manera que el punto de tangencia de las dos bases esté concentrado sobre la lámina de apoyo. Se coloca el segundo listón longitudinalmente sobre el cilindro, centrándolo en forma similar al anterior” (Silva, 2014).

El ensayo se realiza con carga continua y sin impacto a velocidad constante y se termina cuando alcanza la carga máxima y se rompe el cilindro, con la que se calcula la tensión máxima de tracción mediante la siguiente expresión:

$$f_t = \frac{2 * P}{\pi * D * L}$$

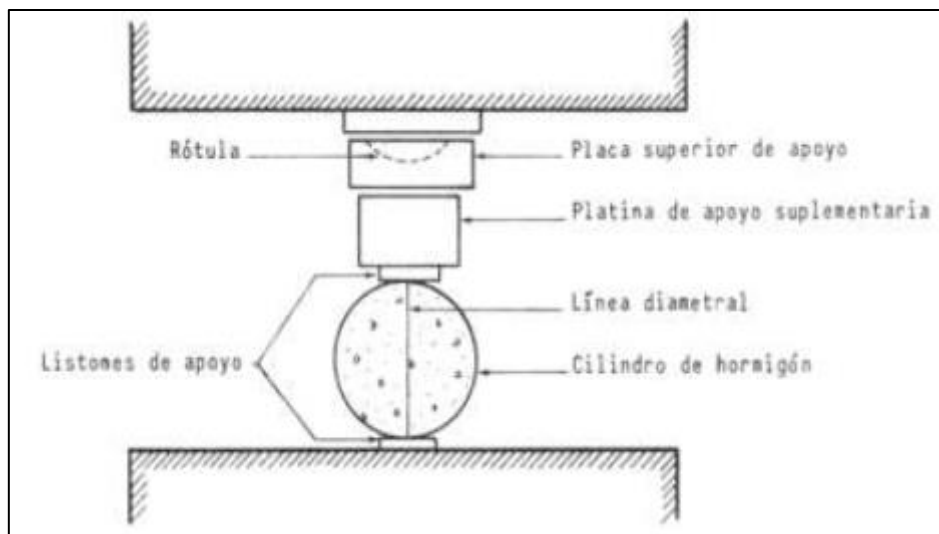
Dónde:

$f't$  = Resistencia de tracción indirecta

$P$  = Carga máxima indicada por la máquina de ensayo

$D$  = Diámetro de cilindro

$L$  = Longitud de cilindro



**Figura 21.** Esquema para ensayo de Tracción Indirecta.

**Fuente:** Norma ASTM A496

#### 4.3.3.7 Determinación de la Densidad del Hormigón Endurecido

La densidad del hormigón endurecido se define como el peso por unidad de volumen, para realizar este ensayo el cilindro debe estar en condición de saturado superficie seca (sss), y se calcula mediante expresión recomendada por la NTE INEN 1573 (2010):

$$D_{HE} = \frac{m_c}{v_c}$$

Dónde:

**DHE** = Densidad del hormigón endurecido, (kg/m<sup>3</sup>)

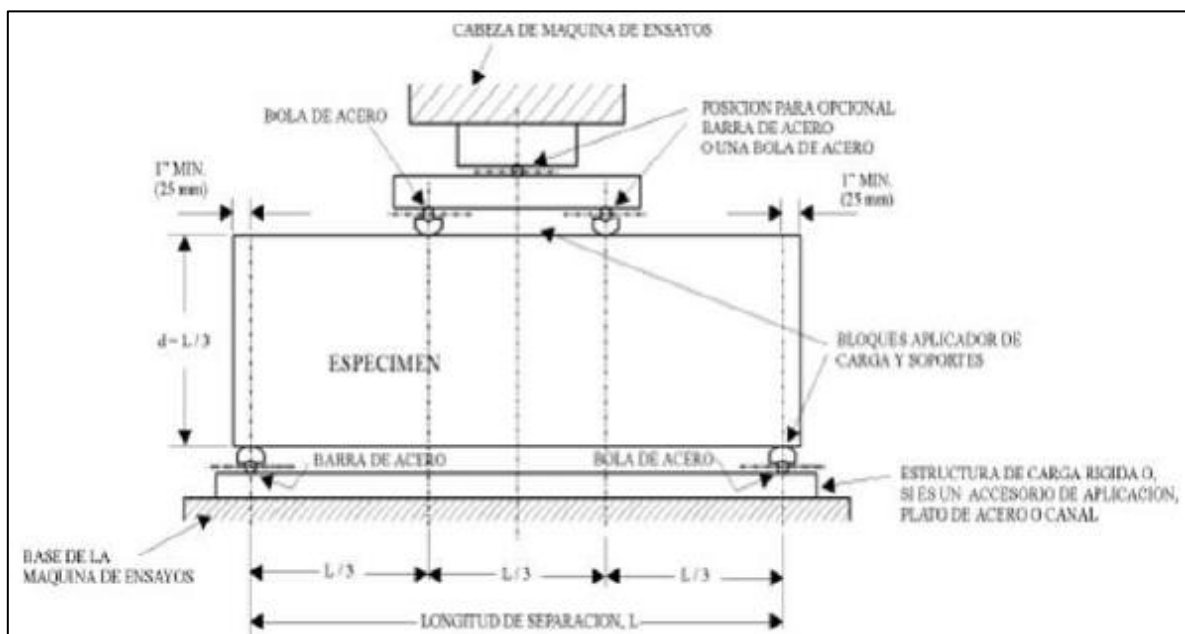
**mc** = Masa del cilindro del hormigón en condición sss, (kg)

**vc** = Volumen del cilindro de hormigón, (m<sup>3</sup>)

#### 4.3.3.8 Resistencia a la Flexión del Hormigón con Cargas en los Tercios de la Luz

Las muestras prismáticas que se utilizarán para el ensayo tendrán una sección transversal de 150 mm por 150 mm y una longitud de al menos 530 mm. Los lados del espécimen deben formar ángulo recto con la parte superior e inferior, además todas las superficies deben ser lisas y libres de concavidades, agujeros o marcas de identificación inscritas (ASTM C42, 2016).

El ensayo a flexión de vigas se debe realizar tan pronto como los especímenes sean retirados del almacenamiento húmedo, pues el secado de las superficies del espécimen puede producir una reducción en la medida del esfuerzo de flexión (ASTM C42, 2016).



**Figura 22.** Esquema para determinar la resistencia a flexión del concreto con aplicación de carga en los tercios de la luz.

**Fuente:** Norma ASTM – C 78

## Procedimiento

Girar el espécimen a ensayar sobre uno de sus lados con respecto a su posición como fue moldeado y centrado en los bloques de soporte. Posteriormente coloque los bloques de aplicación de carga en contacto con la superficie del espécimen en el tercio medio y aplique una carga entre 3 y 6% de la carga última estimada (ASTM C78, 2002).

“Si no se obtiene un contacto completo entre la probeta y el bloque de aplicación de carga, es necesario pulir las superficies o rellenarlas con láminas de cuero para eliminar cualquier vacío o separación mayor a 0.1 mm (0.004"). El pulido de las superficies debe ser mínimo de tal manera que no cambien las características físicas de la probeta” (Silva, 2014).

Si la fractura inicia en la superficie de tensión, dentro del tercio medio de la longitud entre apoyos, la resistencia a flexión se determina con el módulo de ruptura y se calcula con la siguiente expresión:

$$Mr = \frac{P * L}{b * h^2}$$

Dónde:

**Mr** = Módulo de Ruptura (kg/cm<sup>2</sup>)

**P** = Carga Máxima aplicada (kg)

**L** = Longitud entre apoyos (cm)

**b** = Ancho promedio del espécimen (cm)

**h** = Altura promedio del espécimen (cm)

Si la fractura ocurre en la sección de tensión fuera del tercio medio de la luz o longitud de separación entre apoyos por no más de 5%, calcular el módulo de ruptura como sigue:

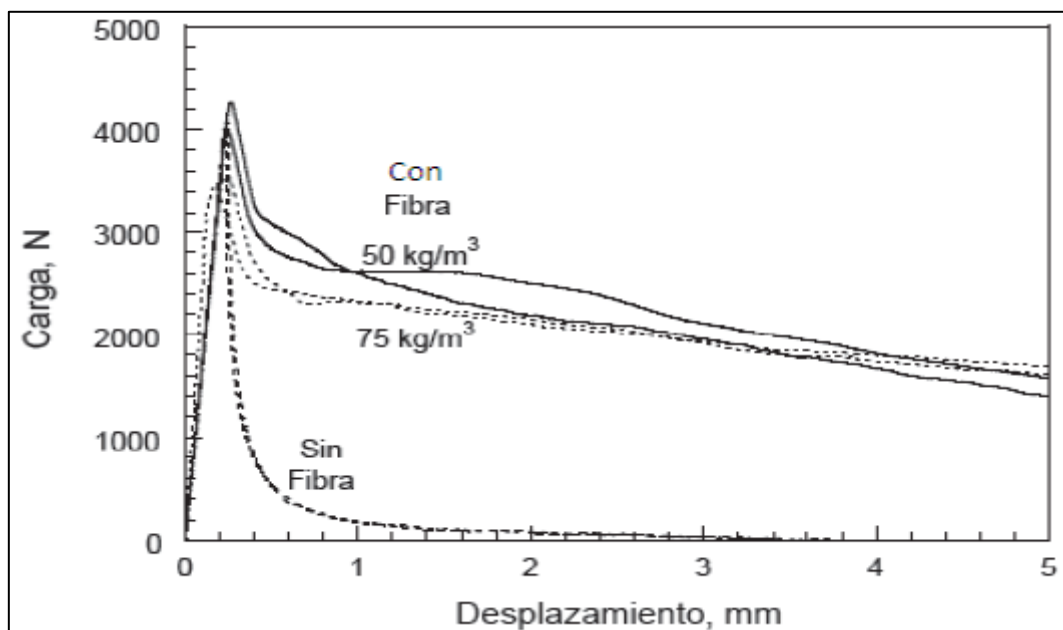
$$Mr = \frac{3 * P * a}{b * h^2}$$

Donde

**a** = distancia promedio entre la línea de fractura y el soporte más cercano medido en la superficie de tensión de la viga (cm)

#### 4.3.3.9 Determinación de la Deflexión en Vigas de Hormigón

Existe un gran número de normas que establecen las condiciones de ensayo y parámetros para evaluar y cuantificar el efecto de la incorporación de fibras en el hormigón, debido a que su resistencia al adicionar fibras no disminuye bruscamente a partir del inicio de la fisuración, conduciendo a una disipación progresiva de la energía durante el proceso de rotura. La tenacidad del material se puede definir como el parámetro que cuantifica esta capacidad de absorción de energía. Si bien la tenacidad como tal, no es usual que se utilice directamente como parámetro de cálculo, su caracterización es fundamental para representar el efecto de la incorporación de fibras en el hormigón (Carmona et al., 2009).



**Figura 23.** Curvas carga- desplazamiento.

**Fuente:** Godoy, M. Comportamiento mecánico del hormigón reforzado con fibras de acero

La Figura 23 representa el comportamiento particular del hormigón a cargas de flexotracción, en donde se observa el resultado que se puede lograr con la presencia de diversas concentraciones de fibras, reflejado por las curvas carga – deflexión.

En la presente investigación para analizar el efecto de la adición de fibras de acero dentro del hormigón se empleará el ensayo de flexión con aplicación de carga a los tercios de la luz descrita por la norma ASTM C- 78, y las curvas Carga – Deflexión se obtendrán, a partir de las lecturas de las mediciones que serán tomadas de un deformímetro con una precisión de 0.001” el cual será colocado de manera cuidadosa sobre el centro de los especímenes a ser ensayados a flexión, esta medida se ha tomado debido a que el laboratorio en donde se llevó a cabo el presente estudio no dispone del equipo que se estipula en la norma mencionada, el cual consta de dos transductores de desplazamiento vertical en el centro de la viga, por el marco de flexión enlazado al marco de control del Sistema de Compresión Automática.

## CAPITULO V

## 5 DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN

5.1 DOSIFICACIÓN PARA HORMIGÓN DE  $f^c = 210 \text{ kg/cm}^2$ 

<b>RESUMEN PARA DOSIFICACIÓN</b>				<b>DOSIFICACIÓN AL PESO (1 KG DE CEMENTO)</b>		
CEMENTO	1 SACO DE	50	KG	CEMENTO	1.0	KG
GRAVA	5.8 CAJONES DE 30 X 30 X 20			GRAVA	2.7	KG
ARENA	4.8 CAJONES DE 30 X 30 X 20			ARENA	2.5	KG
AGUA	27.50 LTS			AGUA	0.5	LTS
ADITIVO	0 CC DE PLASTIFICANTE-REDUCTOR DE AGUA			ADITIVO	0.0	CC

*Figura 24.* Resumen de la Dosificación para Hormigón de  $f^c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .

**Fuente:** Laboratorio de Materiales de Construcción y Mecánica de Suelos (UCACUE).

## 5.2 DOSIFICACIÓN DE LA FIBRA DE ACERO TIPO

Para el estudio del presente proyecto se tomaron cuatro muestras cilíndricas y dos muestras de vigas para cada dosificación de hormigón, las cuales estuvieron conformadas por el 1,15% de concentración de fibras, puesto que luego de haber analizado todos los resultados con los agregados, se llegó a la conclusión que poseen características muy similares a las de los agregados de un estudio similar en la ciudad de Ambato en la Sierra del país, en dónde se tenía por objetivo hallar el porcentaje de fibra óptimo para emplear en una mezcla de hormigón fibro reforzado, y dichos antecedentes garantizan la optimización de las propiedades del hormigón ya que cumplen con los requisitos necesarios dispuestos por la Norma, y por tal motivo se escogió el porcentaje de fibra mencionado para las respectivas mezclas de hormigón.

### 5.2.1 Justificación del porcentaje de fibra:

Finalizados los análisis pertinentes de las dosificaciones con diferentes porcentajes de fibra de acero se concluye que el 1,15% es el porcentaje óptimo para la resistencia a flexión, mientras que el 1,20% es el porcentaje óptimo para la resistencia a tracción, y finalmente el 0,62% es el porcentaje óptimo para la resistencia a compresión, no obstante considerando que la compresión del hormigón reforzado con el 1,15% de fibra no se ve disminuida por su adición se recomienda emplear este porcentaje para conseguir las mejores respuestas tanto a tracción como a flexión (Silva, 2014).

Además se prepara el mismo número de muestras de hormigón convencional (sin fibra) como referencia con la intención de realizar comparaciones con el hormigón reforzado con fibras de acero.

### 5.2.2 Dosificación de Fibra de Acero en Cilindros

Como se determinó en el literal 4.3.2.1 En primer lugar se calcula el volumen del cilindro de concreto que se va a elaborar, ya que en este estudio se prepararon cilindros con distintas dimensiones como se menciona en el numeral 2, calcularemos las dosificaciones de manera separada para cada cilindro, partiendo por el de las dimensiones de: 15 cm de diámetro por 30 cm de altura.

Ver literal 4.3.2.1 en dónde se muestran expresadas las fórmulas que se utilizan a continuación.

1.- Calculando “VCH” tenemos:

$$VCH = \left( \frac{\pi * 15^2 cm}{4} \right) * 30 cm$$

$$VCH = 5301.44 cm^3 = 0.0053 m^3$$

2.- Calculando “MCH” tenemos:

$$MCH = 0.0053 \text{ m}^3 * 3140 \text{ kg/m}^3$$

$$MCH = 16.642 \text{ kg}$$

3.- Calculando “MHC” tenemos:

$$MHC = 16.642 \text{ kg} * 2$$

$$MHC = 33.284 \text{ kg}$$

4.- Calculando “VHC” tenemos:

$$VHC = \frac{33.284 \text{ kg}}{3140 \text{ kg/m}^3}$$

$$VHC = 0.0106 \text{ m}^3$$

5.- Calculando “VF<sub>a</sub>” tenemos:

$$VF_a = \frac{1.15 \% * 1 \text{ m}^3}{100 \%}$$

$$VF_a = 0.0115 \text{ m}^3$$

6.- Calculando “MF<sub>a</sub>” tenemos:

$$MF_a = 0.0115 \text{ m}^3 * 7.85 \text{ g/cm}^3$$

$$MF_a = 90.275 \text{ kg cada m}^3$$

7.- Finalmente calculando “CF<sub>a</sub>C” tenemos:

$$CF_aC = 90.275 \text{ kg cada m}^3 * 0.0106 \text{ m}^3$$

$$\underline{\underline{CF_aC = 0.96 \text{ kg}}}$$

Se calcula la dosificación para las probetas cilíndricas con dimensiones de 10 cm de diámetro por 20 cm de alto aplicando el mismo criterio y procedimiento.

1.- Calculando “VCH2” tenemos:

$$VCH2 = \left( \frac{\pi * 10^2 cm}{4} \right) * 20 cm$$

$$VCH2 = 0.00157 m^3$$

2.- Calculando “MCH2” tenemos:

$$MCH2 = 0.00157 m^3 * 3140 kg/m^3$$

$$MCH2 = 4.93 kg$$

3.- Calculando “MHC2” tenemos:

$$MHC2 = 4.93 kg * 2$$

$$MHC2 = 9.86 kg$$

4.- Calculando “VHC2” tenemos:

$$VHC2 = \frac{9.86 kg}{3140 kg/m^3}$$

$$VHC2 = 0.00314 m^3$$

5.- Calculando “VF<sub>a2</sub>” tenemos:

$$VF_{a2} = \frac{1.15 \% * 1 m^3}{100 \%}$$

$$VF_{a2} = 0.0115 m^3$$

6.- Calculando “MF<sub>a2</sub>” tenemos:

$$MFa2 = 0.0115 \text{ m}^3 * 7.85 \text{ g/cm}^3$$

$$MFa2 = 90.275 \text{ kg cada m}^3$$

7.- Finalmente calculando “CFaC2” tenemos:

$$CFaC2 = 90.275 \text{ kg cada m}^3 * 0.00314 \text{ m}^3$$

$$\underline{\underline{CFaC2 = 0.28 \text{ kg}}}$$

### 5.2.3 Dosificación de Fibra de Acero en Vigas

De igual manera basándose en lo estipulado en el numeral 4.3.2.1 calculamos todos los parámetros para determinar la dosificación de fibra de acero en vigas, en este caso se elaboraron 2 vigas de hormigón fibra reforzadas cuyas dimensiones son de 15x15x53 cm.

Utilizando la formulación planteada en el numeral mencionado procedemos de la siguiente manera:

1.- Calculando “VVH” tenemos:

$$VVH = 0.53 \text{ m} * 0.15 \text{ m} * 0.15 \text{ m}$$

$$VVH = 0.012 \text{ m}^3$$

2.- Calculando “MVH” tenemos:

$$MVH = 0.012 \text{ m}^3 * 3140 \text{ kg/m}^3$$

$$MVH = 37.44 \text{ kg}$$

3.- Calculando “MHV” tenemos:

$$MHV = 37.44 \text{ kg} * 2$$

$$MHV = 74.88 \text{ kg}$$

4.- Calculando “VHC” tenemos:

$$VHV = \frac{74.88 \text{ kg}}{3140 \text{ kg/m}^3}$$

$$VHV = 0.024 \text{ m}^3$$

5.- Calculando “VF<sub>a</sub>” tenemos:

$$VF_a = \frac{1.15 \% * 1 \text{ m}^3}{100 \%}$$

$$VF_a = 0.0115 \text{ m}^3$$

6.- Calculando “MF<sub>a</sub>” tenemos:

$$MF_a = 0.0115 \text{ m}^3 * 7.85 \text{ g/cm}^3$$

$$MF_a = 90.275 \text{ kg cada m}^3$$

7.- Finalmente calculando “CF<sub>aV</sub>” tenemos:

$$CF_aV = 90.275 \text{ kg cada m}^3 * 0.024 \text{ m}^3$$

$$\underline{\underline{CF_aV = 2.16 \text{ kg}}}$$

Por lo tanto la cantidad total de fibras de acero que se utilizan en la correspondiente mezcla de hormigón fibro reforzado será el resultado de la suma de las tres dosificaciones calculadas, la cual nos da el siguiente valor:

$$CF_aTotal = CF_aC + CF_aC2 + CF_aV$$

$$CF_aTotal = 0.96 \text{ kg} + 0.28 \text{ kg} + 2.16 \text{ kg}$$

$$\underline{\underline{CF_aTotal = 3.4 \text{ kg}}}$$

## 5.2.4 Resumen de Resultados de las Dosificaciones de Fibra de Acero en Vigas y Cilindros

Tabla 18

Dosificación para 1.15% de fibra de acero en cilindros de 15x30 cm de hormigón de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA – SEDE AZOGUES FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO EN LA CIUDAD DE AZOGUES, PROVINCIA DEL CAÑAR			
DOSIFICACIÓN PARA 1.15% DE FIBRA DE ACERO EN CILINDROS DE 15cm x 30cm DE HORMIGÓN $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$			
SIMBOLOGÍA	TERMINOLOGÍA	UNIDADES	DATOS
# Cilindros	Número de Cilindros	u	2
D	Diámetro de Cilindro	m	0.15
H	Altura de Cilindro	m	0.30
VCH	Volumen del Cilindro	m <sup>3</sup>	0.0053
DH	Densidad Hormigón	kg/m <sup>3</sup>	3140
MCH	Masa de cada Cilindro Hormigón	kg	16.642
MHC	Masa de Hormigón para Cilindros	kg	33.284
VHC	Volumen de Horm. para Cilindros	m <sup>3</sup>	0.0106
DFa	Densidad de la Fibra de Acero	gr/cm <sup>3</sup>	7.85
%Fa	% Fibra de Acero en el Hormigón	%	1.15
VF <sub>a</sub>	Volumen de Fibra de Acero	m <sup>3</sup>	0.0115
MF <sub>a</sub>	Masa de Fibra de Acero en Hom.	kg cada m <sup>3</sup>	90.275
CFaC	Cantidad de Fibra para Cilindros	kg	0.96

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19

*Dosificación para 1.15% de fibra de acero en cilindros de 10x20 cm de hormigón de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .*

<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA – SEDE AZOGUES FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>			
<b>EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO EN LA CIUDAD DE AZOGUES, PROVINCIA DEL CAÑAR</b>			
<b>DOSIFICACIÓN PARA 1.15% DE FIBRA DE ACERO EN CILINDROS DE 10cm x 20cm DE HORMIGÓN <math>f'c = 210 \text{ kg/cm}^2</math></b>			
<b>SIMBOLOGÍA</b>	<b>TERMINOLOGÍA</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>DATOS</b>
# Cilindros	Número de Cilindros	u	2
D	Diámetro de Cilindro	m	0.10
H	Altura de Cilindro	m	0.20
VCH	Volumen del Cilindro	m <sup>3</sup>	0.00157
DH	Densidad Hormigón	kg/m <sup>3</sup>	3140
MCH	Masa de cada Cilindro Hormigón	kg	4.93
MHC	Masa de Hormigón para Cilindros	kg	9.86
VHC	Volumen de Horm. para Cilindros	m <sup>3</sup>	0.00314
DFa	Densidad de la Fibra de Acero	gr/cm <sup>3</sup>	7.85
%Fa	% Fibra de Acero en el Hormigón	%	1.15
VFa	Volumen de Fibra de Acero	m <sup>3</sup>	0.0115
MFa	Masa de Fibra de Acero en Horm.	kg cada m <sup>3</sup>	90.275
CFaC	Cantidad de Fibra para Cilindros	kg	0.28

**Fuente:** Elaboración propia.

Tabla 20

Dosificación para 1.15% de fibra de acero en vigas de 15x15x53 cm de hormigón de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA – SEDE AZOGUES FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO EN LA CIUDAD DE AZOGUES, PROVINCIA DEL CAÑAR			
DOSIFICACIÓN PARA 1.15% DE FIBRA DE ACERO EN VIGAS DE 15X15X53 cm DE HORMIGÓN $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$			
SIMBOLOGÍA	TERMINOLOGÍA	UNIDADES	DATOS
# Vigas	Número de Vigas	u	2
Lv	Longitud de la Viga	m	0.53
Av	Ancho de la Viga	m	0.15
Hv	Altura de la Viga	m	0.15
VVH	Volumen de la Viga	m <sup>3</sup>	0.012
DH	Densidad Hormigón	kg/m <sup>3</sup>	3140
MVH	Masa de cada Viga de Hormigón	kg	37.44
MHV	Masa de Hormigón para Vigas	kg	74.88
VHV	Volumen de Hormigón para Vigas	m <sup>3</sup>	0.024
DFa	Densidad de la Fibra de Acero	gr/cm <sup>3</sup>	7.85
%Fa	% Fibra de Acero en el Hormigón	%	1.15
VFa	Volumen de Fibra de Acero	m <sup>3</sup>	0.0115
MFa	Masa de Fibra de Acero en Horm.	kg cada m <sup>3</sup>	90.275
CFaV	Cantidad de Fibra para Vigas	kg	2.16


Fuente: Elaboración propia.

### 5.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO (HRFA) Y SIN FIBRAS DE ACERO

#### 5.3.1 Comportamiento de los Hormigones con y sin Fibras de Acero en Estado Fresco

Tabla 21


*Propiedades en Estado Fresco del HRFA y del Hormigón Simple (Sin Fibras) en Cilindros.*

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA - SEDE AZOGUES</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN</b> LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y MECÁNICA DE SUELOS -LMCMS-						
<b>ENSAYO:</b>	PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO DEL HORMIGÓN $f'_c = 210 \text{ KG/CM}^2$ CON Y SIN FIBRAS DE ACERO EN CILINDROS					
<b>PROYECTO:</b>	TRABAJO DE TITULACIÓN "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO EN LA CIUDAD DE AZOGUES, PROVINCIA DEL CAÑAR"					
<b>UBICACIÓN:</b>	AZOGUES, CAÑAR					
<b>AUTOR:</b>	LUCIANO ROJAS CRUZ					
<b>DIRECTOR:</b>	ING. RICARDO ROMERO					
<b>NORMA:</b>	NTE INEN 1578                      NTE INEN 1579					
# PROBETA	IDENTIFICACIÓN	DIÁMETRO (CM)	ALTURA (CM)	TRABAJABILIDAD	ASENTAMIENTO (CM)	HOMOGENEIDAD
1	H° SIMPLE ( $f'_c = 210 \text{ KG/CM}^2$ )	15,1	30,2	BUENA	9	BUENA
2	H° SIMPLE ( $f'_c = 210 \text{ KG/CM}^2$ )	15	30,1	BUENA	9	BUENA
3	H° FIBRO REFORZADO ( $f'_c = 210 \text{ KG/CM}^2$ )	15,1	30,1	MEDIA	7	BUENA
4	H° FIBRO REFORZADO ( $f'_c = 210 \text{ KG/CM}^2$ )	15,2	30,2	MEDIA	7	BUENA
# PROBETA	IDENTIFICACIÓN	DIÁMETRO (CM)	ALTURA (CM)	TRABAJABILIDAD	ASENTAMIENTO (CM)	HOMOGENEIDAD
1	H° SIMPLE ( $f'_c = 210 \text{ KG/CM}^2$ )	10,2	20	BUENA	9	BUENA
2	H° SIMPLE ( $f'_c = 210 \text{ KG/CM}^2$ )	10,1	20,1	BUENA	9	BUENA
3	H° FIBRO REFORZADO ( $f'_c = 210 \text{ KG/CM}^2$ )	10,1	20,2	MEDIA	7	BUENA
4	H° FIBRO REFORZADO ( $f'_c = 210 \text{ KG/CM}^2$ )	10	20,1	MEDIA	7	BUENA

**Fuente:** Elaboración propia.

Tabla 22

*Propiedades en Estado Fresco del HRFA y del Hormigón Simple (Sin Fibras) en Vigas.*


 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA - SEDE AZOGUES</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN</b> LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y MECÁNICA DE SUELOS -LMCMS-						
<b>ENSAYO:</b>	PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO DEL HORMIGÓN $f_c = 210$ KG/CM <sup>2</sup> CON Y SIN FIBRAS DE ACERO EN VIGAS					
<b>PROYECTO:</b>	TRABAJO DE TITULACIÓN "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO EN LA CIUDAD DE AZOGUES, PROVINCIA DEL CAÑAR"					
<b>UBICACIÓN:</b>	AZOGUES, CAÑAR					
<b>AUTOR:</b>	LUCIANO ROJAS CRUZ					
<b>DIRECTOR:</b>	ING. RICARDO ROMERO					
<b>NORMA:</b>	NTE INEN 1578      NTE INEN 1579					
# PROBETA	IDENTIFICACIÓN	ANCHO VIGA (CM)	LONG. VIGA (CM)	TRABAJABILIDAD	ASENTAMIENTO (CM)	HOMOGENEIDAD
1	Hº SIMPLE ( $f_c = 210$ KG/CM <sup>2</sup> )	15.1	53.2	BUENA	9	BUENA
2	Hº SIMPLE ( $f_c = 210$ KG/CM <sup>2</sup> )	15.2	53.1	BUENA	9	BUENA
3	Hº FIBRO REFORZADO ( $f_c = 210$ KG/CM <sup>2</sup> )	15.1	53.1	MEDIA	7	BUENA
4	Hº FIBRO REFORZADO ( $f_c = 210$ KG/CM <sup>2</sup> )	15.1	53.1	MEDIA	7	BUENA

**Fuente:** Elaboración propia.

### 5.3.2 Determinación de las Resistencias a Compresión de los Hormigones con y sin Fibras de Acero en Estado Endurecido

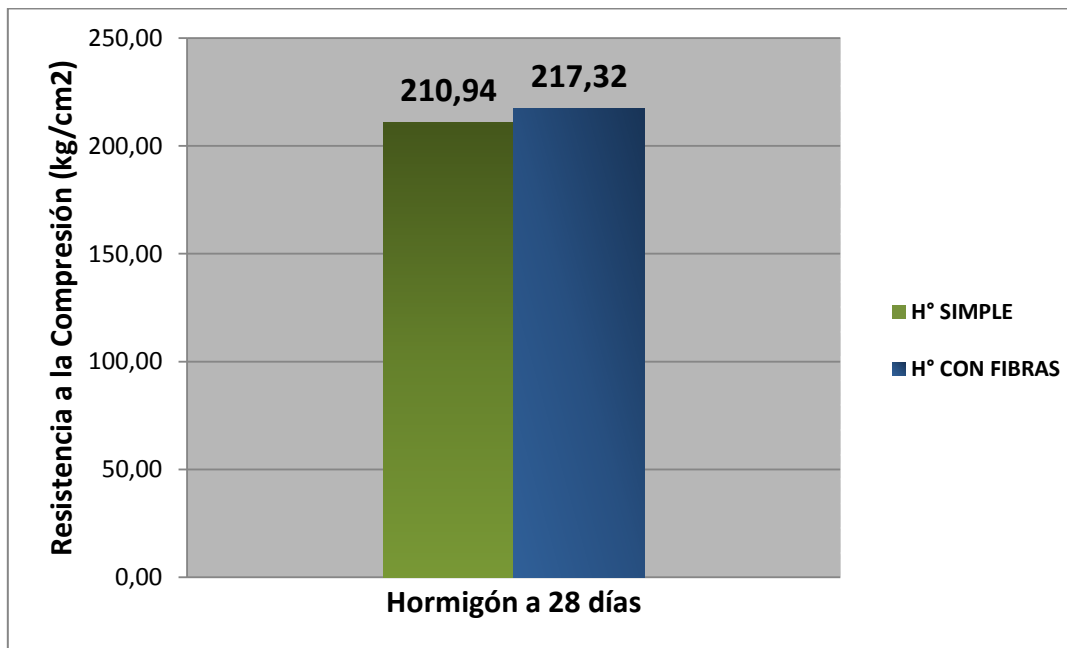
Tabla 23

Resistencia a la Compresión en cilindros de Hormigón con y sin Fibras de Acero.

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA - SEDE AZOGUES</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN</b> LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y MECÁNICA DE SUELOS -LMCMS-						
<b>ENSAYO:</b>	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN $f'_c = 210$ KG/CM <sup>2</sup> CON Y SIN FIBRAS DE ACERO					
<b>PROYECTO:</b>	TRABAJO DE TITULACIÓN "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO EN LA CIUDAD DE AZOGUES, PROVINCIA DEL CAÑAR"					
<b>UBICACIÓN:</b>	AZOGUES, CAÑAR					
<b>AUTOR:</b>	LUCIANO ROJAS CRUZ					
<b>DIRECTOR:</b>	ING. RICARDO ROMERO					
<b>NORMA:</b>	NTE INEN 1573      ASTM C-39					
# PROBETA	IDENTIFICACIÓN	EDAD (DÍAS)	DIÁMETRO (CM)	ALTURA (CM)	ÁREA (CM <sup>2</sup> )	VOLUMEN (M <sup>3</sup> )
1	H° SIMPLE ( $f'_c = 210$ KG/CM <sup>2</sup> )	28	15,1	30,2	179,08	0,0054
2	H° SIMPLE ( $f'_c = 210$ KG/CM <sup>2</sup> )	28	15	30,1	176,71	0,0053
3	H° FIBRO REFORZADO ( $f'_c = 210$ KG/CM <sup>2</sup> )	28	15,1	30,1	179,08	0,0054
4	H° FIBRO REFORZADO ( $f'_c = 210$ KG/CM <sup>2</sup> )	28	15,2	30,2	181,46	0,0055
# PROBETA	PESO (GR)	DENSIDAD (KG/M <sup>3</sup> )	CARGA (KG)	ESF. COMP. (KG/CM <sup>2</sup> )	ESFUERZO MEDIO	% DEL ESFUERZO REQUERIDO
1	12356	2284,69	37624	210,098	210,94	100,45
2	12422	2335,35	37425	211,782		
3	12643	2345,52	39388	219,948	217,32	103,48
4	12598	2298,89	38956	214,683		

Fuente: Elaboración propia.

### 5.3.2.1 Cuadro comparativo de las resistencias a compresión de las muestras de hormigón con y sin fibras de acero



*Figura 25.* Resistencia a la Compresión en cilindros de Hormigón con fibras y Simple.  
**Fuente:** Elaboración propia.


#### Interpretación de la Figura:

Luego de haber realizado los ensayos de compresión a los cilindros de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , se pudo observar algunas particularidades, como que el hormigón reforzado con el 1,15% de concentración de fibra de acero demuestra un pequeño mejoramiento en la resistencia a la compresión, un minúsculo aumento en porcentaje alrededor del 3% para la dosificación de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  en comparación al hormigón simple (Sin Fibra), lo cual no es tan significativo pero era el resultado esperado puesto que la adición de fibras no son precisamente destinadas para mejorar notablemente a la característica más imperante del hormigón simple. Cabe destacar adicionalmente que al ensayar las probetas reforzadas con fibras, estas no manifestaron una falla explosiva como así lo hizo el hormigón convencional.

### 5.3.3 Determinación de las Resistencias a Tracción de los Hormigones con y sin Fibras de Acero en Estado Endurecido

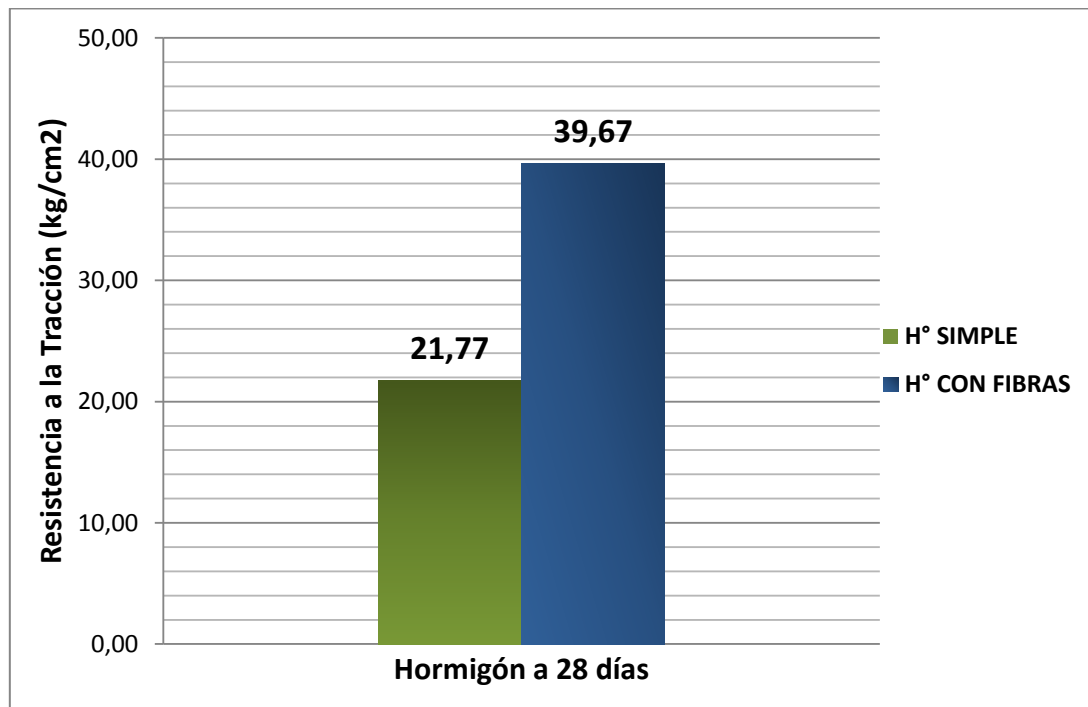
Tabla 24

Resistencia a la Tracción Indirecta en cilindros de Hormigón con y sin fibras de acero.

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA - SEDE AZOGUES</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN</b> LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y MECÁNICA DE SUELOS -LMCMS-						
<b>ENSAYO:</b>	ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA EN CILINDROS DE HORMIGÓN $f'_c = 210 \text{ KG/CM}^2$ CON Y SIN FIBRAS DE ACERO					
<b>PROYECTO:</b>	TRABAJO DE TITULACIÓN "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO EN LA CIUDAD DE AZOGUES, PROVINCIA DEL CAÑAR"					
<b>UBICACIÓN:</b>	AZOGUES, CAÑAR					
<b>AUTOR:</b>	LUCIANO ROJAS CRUZ					
<b>DIRECTOR:</b>	ING. RICARDO ROMERO					
<b>NORMA:</b>	ASTM C 496-96					
# PROBETA	IDENTIFICACIÓN	EDAD (DÍAS)	DIÁMETRO (CM)	ALTURA (CM)	ÁREA (CM <sup>2</sup> )	VOLUMEN (M <sup>3</sup> )
1	H° SIMPLE ( $f'_c = 210 \text{ KG/CM}^2$ )	28	10,2	20	81,71	0,0016
2	H° SIMPLE ( $f'_c = 210 \text{ KG/CM}^2$ )	28	10,1	20,1	80,12	0,0016
3	H° FIBRO REFORZADO ( $f'_c = 210 \text{ KG/CM}^2$ )	28	10,1	20,2	80,12	0,0016
4	H° FIBRO REFORZADO ( $f'_c = 210 \text{ KG/CM}^2$ )	28	10	20,1	78,54	0,0016
# PROBETA	PESO (GR)	DENSIDAD (KG/M <sup>3</sup> )	CARGA (KG)	$\sigma$ TRACCIÓN (KG/CM <sup>2</sup> )	ESFUERZO MEDIO (KG/CM <sup>2</sup> )	RELACIÓN $\sigma$ COMPRES. / $\sigma$ TRACCIÓN. (%)
1	5987	3663,44	6850	21,377	21,77	10,32
2	5846	3630,20	7065	22,155		
3	6023	3721,59	12690	39,598	39,67	18,25
4	5993	3796,28	12545	39,733		

Fuente: Elaboración propia.

### 5.3.3.1 Cuadro comparativo de las resistencias a tracción de las muestras de hormigón con y sin fibras de acero



**Figura 26.** Resistencia a la Tracción Indirecta en cilindros de Hormigón con fibras y Simple.  
**Fuente:** Elaboración propia.


#### Interpretación de la Figura:

Luego de haber realizado los ensayos de Tracción Indirecta a los cilindros de  $f'c = 210$  kg/cm<sup>2</sup>, se pudo observar detalles mucho más interesantes, como que el hormigón reforzado con el 1,15% de concentración de fibra de acero demuestra un importante incremento en la resistencia a la tracción, alrededor de un 82% para la dosificación de  $f'c = 210$  kg/cm<sup>2</sup> en comparación al hormigón simple (Sin Fibra), lo cual es mucho más significativo y de igual manera era el resultado esperado puesto que la adición de fibras en este caso si era precisamente destinada para mejorar notablemente a esta característica del hormigón.

### 5.3.4 Determinación de las Resistencias a Flexión de los Hormigones con y sin Fibras de Acero en Estado Endurecido

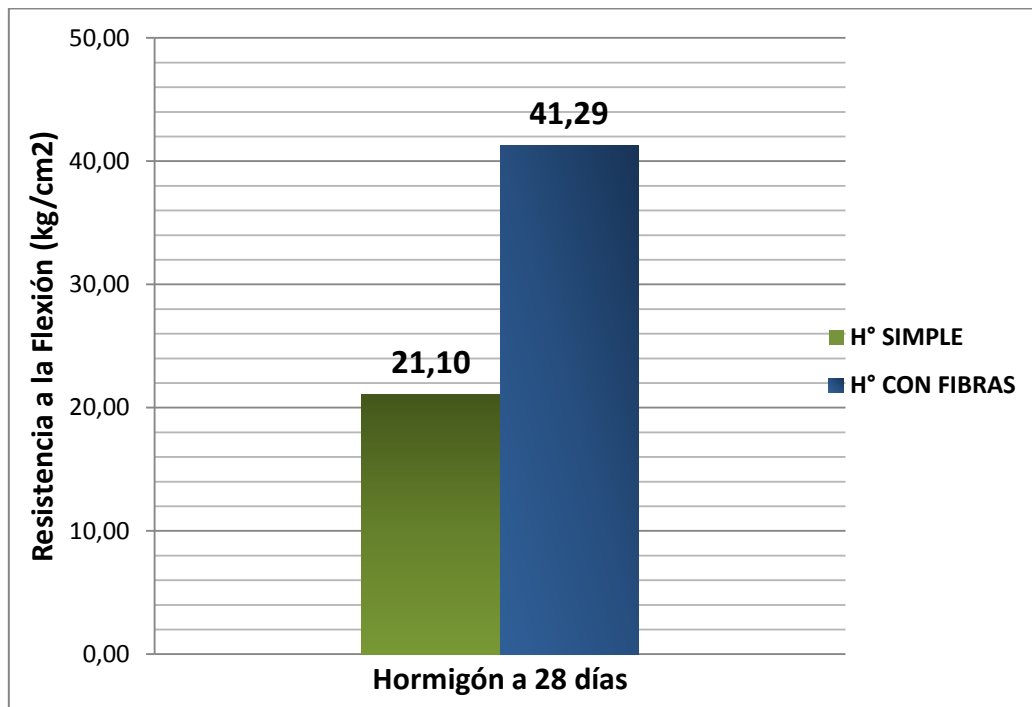
Tabla 25

*Resistencia a la Flexión en Vigas de Hormigón con y sin Fibras de Acero.*

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA - SEDE AZOGUES</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN</b> LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y MECÁNICA DE SUELOS -LMCMS-						
<b>ENSAYO:</b> ENSAYO DE FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN $f'_c = 210 \text{ KG/CM}^2$ CON Y SIN FIBRAS DE ACERO						
<b>PROYECTO:</b> TRABAJO DE TITULACIÓN "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO EN LA CIUDAD DE AZOGUES, PROVINCIA DEL CAÑAR"						
<b>UBICACIÓN:</b> AZOGUES, CAÑAR						
<b>AUTOR:</b> LUCIANO ROJAS CRUZ						
<b>DIRECTOR:</b> ING. RICARDO ROMERO						
<b>NORMA:</b> ASTM C-78						
# PROBETA	IDENTIFICACIÓN	EDAD (DÍAS)	ANCHO VIGA (CM)	ALTURA VIGA (CM)	LARGO VIGA (CM)	DIST. ENTRE APOYOS (CM)
1	Hº SIMPLE ( $f'_c = 210 \text{ KG/CM}^2$ )	28	15,1	15,0	53,2	45
2	Hº SIMPLE ( $f'_c = 210 \text{ KG/CM}^2$ )	28	15,2	15,1	53,1	45
3	Hº FIBRO REFORZADO ( $f'_c = 210 \text{ KG/CM}^2$ )	28	15,1	15,1	53,1	45
4	Hº FIBRO REFORZADO ( $f'_c = 210 \text{ KG/CM}^2$ )	28	15,1	15,2	53,1	45
# PROBETA	CARGA (KG)	MÓD. ROTURA (KG/CM <sup>2</sup> )	M. ROT. MEDIO (KG/CM <sup>2</sup> )	DEFLEXIÓN ÚLTIMA (MM)	DEFLEXIÓN ÚLT. MEDIA (MM)	RELACIÓN $\sigma$ COMPRES. / $\sigma$ FLEXIÓN. (%)
1	1621,35	21,47	21,10	0,372	0,389	10,00
2	1596,52	20,73		0,405		
3	3150,94	41,18	41,29	2,080	2,115	19,00
4	3208,72	41,39		2,150		

**Fuente:** Elaboración propia.

### 5.3.4.1 Cuadro comparativo de las resistencias a flexión de las muestras de hormigón con y sin fibras de acero

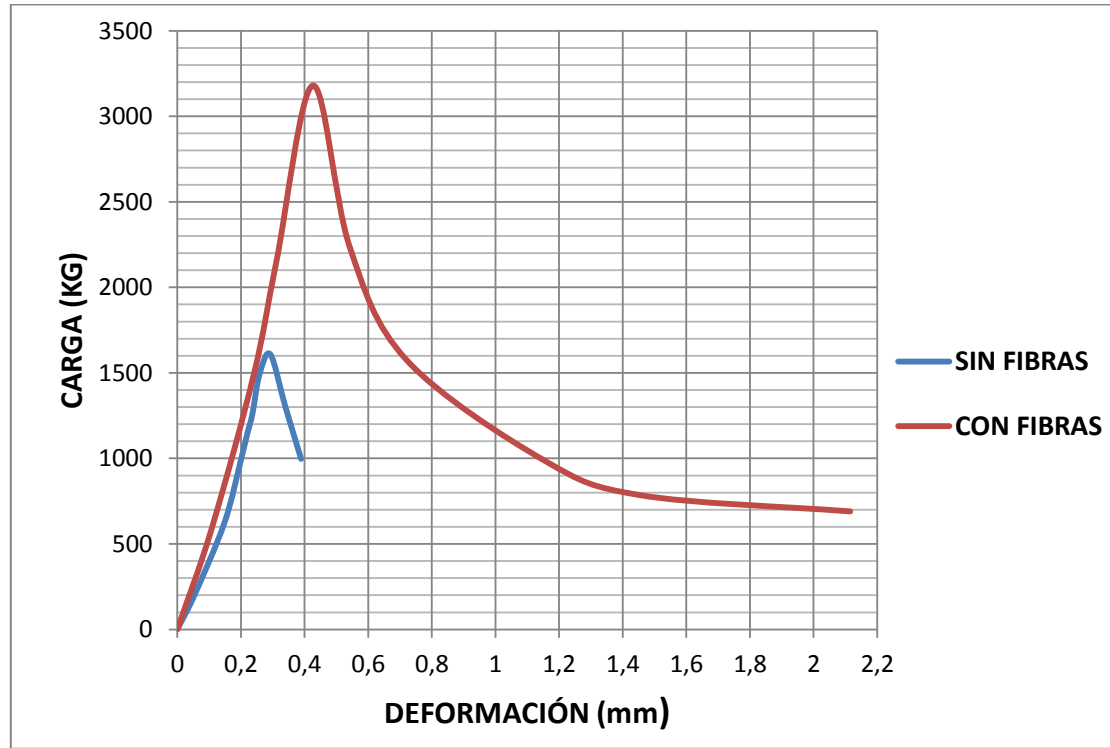


*Figura 27.* Resistencia a la Flexión en Vigas de Hormigón con fibras y Simple.  
**Fuente:** Elaboración propia.

#### Interpretación de la Figura:

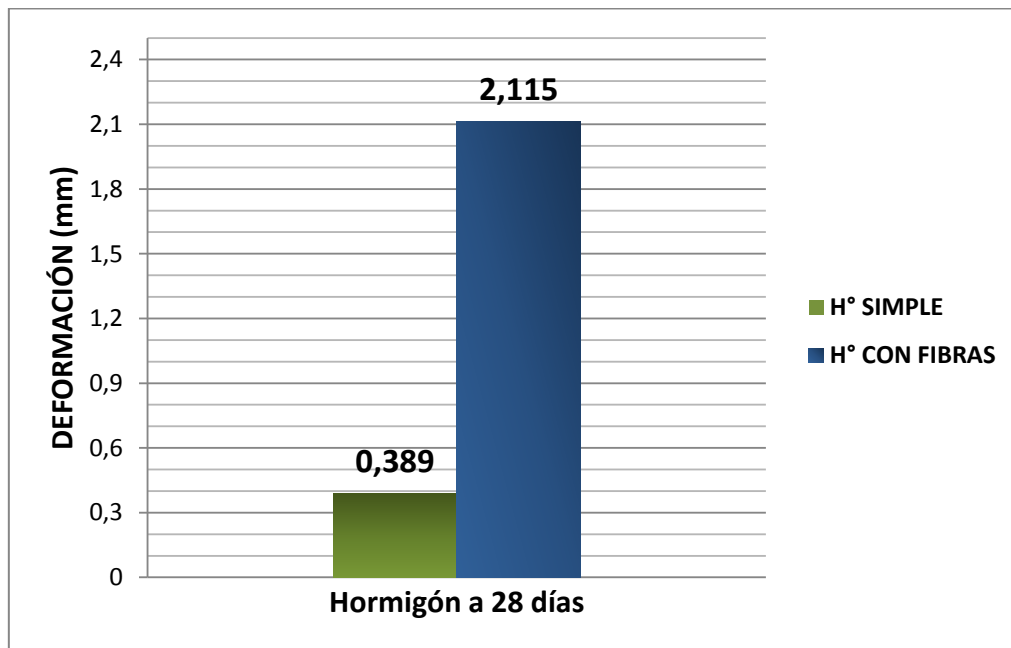
Luego de haber realizado los ensayos de Flexión en vigas de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , se pudo observar de igual manera que en la Figura 25 detalles bastante interesantes, como que el hormigón reforzado con el 1,15% de concentración de fibra de acero demuestra un relevante incremento en la resistencia a flexión, alrededor de un 96% para la dosificación de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  en comparación al hormigón simple (Sin Fibra), lo cual es significativo también y de igual manera era el resultado esperado puesto que la adición de fibras igualmente era destinada para mejorar notablemente a esta otra característica del hormigón.

### 5.3.5 Determinación de las Deflexiones de los Hormigones con y sin Fibras de Acero en Estado Endurecido



*Figura 28.* Deflexión en Vigas de Hormigón con y sin Fibras de Acero.  
**Fuente:** Elaboración propia.

### 5.3.5.1 Cuadro comparativo de las deflexiones de las muestras de hormigón con y sin fibras de acero



**Figura 29.** Comparación entre la Deflexión Máxima en vigas de Hormigón con fibras y Simple.  
**Fuente:** Elaboración propia.

#### Interpretación de la Figura:

Luego de haber realizado los ensayos de Flexión en vigas de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , se pudo observar adicionalmente que la deformación última del hormigón de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  reforzado con fibras de acero es superior a la del hormigón simple en 444%, demostrando de esta manera la influencia positiva que otorga la adición de fibras de acero dentro del hormigón, convirtiéndolo en un material más dúctil., lo cual es importante y de la misma forma era el resultado esperado para esta eventualidad con el hormigón.

## CAPITULO VI

### 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 CONCLUSIONES

- La evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del hormigón reforzado con fibras de acero frente al hormigón simple demostró que la influencia de aquellas fibras generan una reacción positiva en dichas propiedades del hormigón, los resultados obtenidos señalaron que las resistencias del hormigón fibra reforzado mejoró para los tres ensayos a los que fue sometido, por lo que la adición de dichas fibras en las mezclas de hormigón resulta ser un método muy beneficioso a ser considerado.
- Finiquitados los análisis respectivos de las dosificaciones con el porcentaje de fibra de acero de 1,15%, se concluye que es el porcentaje óptimo para la resistencia a flexión a pesar que podría tener resistencias más altas a compresión si se añadiese un porcentaje más alto de fibras, pero dicho acrecentamiento de resistencia no es trascendental ya que sólo varía con algunas unidades, y mientras ésta sube, la resistencia a los otros dos esfuerzos disminuye, por lo que se concluye que con este porcentaje se consiguen las mejores respuestas tanto a tracción como a flexión.
- El análisis comparativo visual que se determinó al ensayar los hormigones con y sin fibras de acero reveló que los hormigones fibra reforzados mejoraron su respuesta considerablemente ante la fisuración, lo que describe un aumento de la tenacidad, a su vez que presentan una falla mucho más dúctil y no explosiva ni frágil, confirmando el hecho de que las fibras de acero que se incorporan cosen la matriz en zonas de fisura generadas y mantienen al espécimen como un solo elemento durante un mayor tiempo, provocando que sea más difícil su destrucción; aspecto de seguridad obtenida

que llegaría a ser de gran relevancia frente a posibles desastres dentro de una construcción.

- Es menester señalar que se visualizó una disminución en la trabajabilidad de la mezcla al adicionar fibras de acero, lo que provoca que las muestras de hormigón contengan mayor porosidad y burbujas de aire en su masa, dando como resultado una menor capacidad de adherencia entre la fibra de acero y la matriz cementicia; de la misma manera el asentamiento se ve afectado, por la formación de bolas de fibra la mezcla pierde fluidez y esto provoca que se puedan obtener valores de asentamiento menores a los que se proponen para un correcto diseño de mezclas de hormigón.

## **6.2 RECOMENDACIONES**

- Se recomienda realizar una adecuada investigación sobre la incorporación de fibras de acero en el hormigón y las características de las mismas, ya que el mal empleo de ellas puede generar respuestas ineficientes en las resistencias de los hormigones, por lo que hay que tener claro las dimensiones y tipos de fibras a utilizar
- Es imprescindible realizar los ensayos con los agregados gruesos y finos de manera minuciosa ya que de esto depende fundamentalmente las características del tipo de fibra de acero que se debe incorporar en las mezclas de hormigón para que se obtengan resultados positivos.
- Es recomendable tener en cuenta que la trabajabilidad y la consistencia de un hormigón se verá negativamente afectado por la inclusión de fibras de acero, por lo que se deben tomar medidas para neutralizar éstos efectos; como disminuir la relación de cantidad de agregado grueso/fino, aumentar la pasta de cemento para tener una mayor fluidez, y al momento de ejecutar obras que requieran volúmenes grandes de hormigón, considerar el posible uso de aditivos en las mezclas.

## BIBLIOGRAFÍA

- ACI 211.1-91. (2002). *Práctica Estándar para Seleccionar el Proporcionamiento de Concreto de Peso Normal, Pesado y Masivo*. Chicago: Official Publication.
- ACI 544.1R-96. (2009). *State of the Art Report on Fiber Reinforced Concrete*. Farmington Hills: Official Publication.
- ACI 544.3R. (2008). *Guide for Specifying, Proportioning, and Production of Fiber*. Chicago: Official Publication.
- Anejo 14 EHE. (2008). *Recomendaciones para la utilización de hormigones con fibras*. Publicación Oficial.
- ASTM A496. (2007). *Standard Specification for Steel Wire, Deformed, for Concrete Reinforcement*. West Conshohocken: ASTM International.
- ASTM A820/A820M. (2016). *Especificación Normalizada para Fibras de Acero para Hormigón Fibro-reforzado*. West Conshohocken: ASTM Internacional.
- ASTM C127. (2004). *Método de Ensayo Normalizado para Determinar la Densidad, la Densidad Relativa (Gravedad Específica), y la Absorción de Agregados Gruesos*. West Conshohocken: ASTM International.
- ASTM C128. (2004). *Método de Ensayo Normalizado para Determinar la Densidad, la Densidad Relativa (Gravedad Específica), y la Absorción de Agregados Finos*. West Conshohocken: ASTM International.
- ASTM C143/C143M. (2015). *Método de Ensayo Normalizado para Asentamiento de Concreto de Cemento Hidráulico*. West Conshohocken: ASTM International.

ASTM C29/C29M. (2007). *Método de ensayo estándar para determinar la densidad en masa (peso unitario) e índice de huecos en los agregados*. West Conshohocken: ASTM International.

ASTM C31/C31M. (2010). *Práctica Normalizada para Preparación y Curado de Especímenes de Ensayo de Concreto en la Obra*. West Conshohocken: ASTM International.

ASTM C33. (2003). *Especificación Normalizada de Agregados para Concreto*. West Conshohocken: ASTM International.

ASTM C39/C39M. (2011). *Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto*. West Conshohocken: ASTM International.

ASTM C42. (2016). *Normalizado de Ensayo de Obtención y Ensayo de Núcleos Perforados y Vigas Aserradas de Concreto*. West Conshohocken: ASTM International.

ASTM C470/C470M. (2015). *Especificación estándar para moldes para la formación de cilindros de prueba de hormigón verticalmente*. West Conshohocken: ASTM International.

ASTM C496/C496M. (2017). *Método de prueba estándar para Determinación de la resistencia a la tracción por compresión diametral de especímenes cilíndricos de hormigón*. West Conshohocken: ASTM International.

ASTM C78. (2002). *Método de Ensayo Normalizado para la Determinación de la Resistencia a la Flexión del Concreto (Utilizando Viga Simple con Carga en los Tercios del Claro)*. West Conshohocken: ASTM International.

- ASTM E11. (2017). *Especificación estándar para tamices de tela tejida y tamices de prueba*. West Conshohocken: ASTM International.
- Barros Fierro, V. P., & Ramírez Cueva, H. C. (2012). *Diseño de hormigones con fibras de polipropileno para resistencias a la compresión de 21 y 28 MPa con agregados de la cantera de pifo*. Quito.
- Blanco, A. (2008). *Durabilidad del hormigón con fibras de acero*. Barcelona.
- Carmona, S., Aguado de Cea, A., Molins, C., & Manuel, C. (2009). *Control de la tenacidad de los hormigones reforzados con fibras usando el ensayo de doble punzonamiento (ensayo barcelona)*. Santiago.
- Figuerola, M. (2013). *Comparativa de la Tenacidad entre Hormigón convencional, Hormigón reforzado con Fibras de Acero y Hormigón Reforzado con Fibras de Polipropileno*. Madrid.
- Godoy, M. (2007). *Comportamiento Mecánico de Hormigón Reforzado con Fibras de Acero: Influencia de la Dosificación de Fibras*. Buenos Aires.
- Irías, A. (2013). *Refuerzo de Elementos Estructurales con Hormigones con Fibras o solo Fibras*. Madrid.
- Jiménez, P. (2001). *Hormigón Armado*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- Mármol, P. (2010). *Hormigones con Fibras de Acero - Características Mecánicas*. Madrid.
- NTE INEN 1573. (2010). *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico*. Quito: Publicación Oficial.
- NTE INEN 1576. (2011). *Hormigón de cemento hidráulico. Elaboración y curado en obra de especímenes para ensayo*. Quito: Publicación Oficial.

NTE INEN 1578. (2010). *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación del asentamiento.*

Quito: Publicación Oficial.

NTE INEN 1579. (2013). *HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN*

*DE LA DENSIDAD, RENDIMIENTO Y CONTENIDO DE AIRE (MÉTODO*

*GRAVIMÉTRICO).* Quito: Publicación Oficial.

NTE INEN 1762. (2014). *HORMIGÓN. DEFINICIONES Y TERMINOLOGÍA.* Quito:

Publicación Oficial.

NTE INEN 2528. (2010). *Cámaras de curado, gabinetes húmedos, tanques para*

*almacenamiento en agua y cuartos para elaborar mezclas, utilizados en ensayos de*

*cemento hidráulico y hormigón. Requisitos.* Quito: Publicación Original.

NTE INEN 490. (2011). *Cementos hidráulicos compuestos. Requisitos.* Quito: Publicación

Oficial.

NTE INEN 695. (2010). *Áridos. Muestreo.* Quito: Publicación Oficial.

NTE INEN 696. (2011). *Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso.* Quito:

Publicación Oficial.

NTE INEN 856. (2010). *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad*

*específica) y absorción del árido fino.* Quito: Publicación Oficial.

NTE INEN 857. (2010). *Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad*

*específica) y absorción del árido grueso.* Quito: Publicación Oficial.

NTE INEN 858. (2010). *Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el*

*porcentaje de vacíos.* Quito: Publicación Oficial.

NTE INEN 872. (2011). *Áridos para hormigón. Requisitos.* Quito: Publicación Oficial.

Ramos, H. (2012). *Aplicación de Fibras Estructurales a los Pilotes tipo CPI 8.* Barcelona.

- Rochel, R. (1998). *Hormigón Reforzado*. Colombia.
- Rodríguez, J. J., & Segura, E. (2013). *Análisis comparativo del efecto de los distintos tipos de fibras en el comportamiento post fisura del hormigón reforzado con fibras*. Valencia.
- Rojas, L. (2014). *Estudio de viabilidad de utilización de fibras de acero para hormigones convencionales y autocompactantes*. Barcelona.
- Silva, L. G. (2014). *Comportamiento del hormigón reforzado con fibras de acero y su influencia en sus propiedades mecánicas en el cantón Ambato, Provincia de Tungurahua*. Ambato.
- UNI 11037. (2003). *Fibras de acero a ser empleadas en la elaboración de conglomerado de hormigón reforzado*. Roma: SAI Global.
- Zerbino, R. (2004). *Hormigón reforzado con fibras: Propiedades y aplicaciones estructurales*. (E. Irassar, Ed.) Santa Fe: Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón.

## ANEXOS

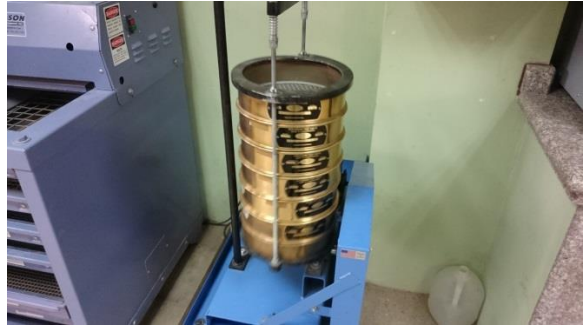
### DEPÓSITO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS



### ENSAYOS CON LOS AGREGADOS GRUESOS Y FINOS







# ELABORACIÓN DE LOS HORMIGONES CON Y SIN FIBRAS DE ACERO





### ENSAYOS DE COMPRESIÓN, TRACCIÓN Y FLEXIÓN



