



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO CIVIL**

**TEMA:**

---

**“COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN ENTRE EL  
HORMIGÓN SIMPLE Y EL HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRA DE  
CARBONO”**

---

**AUTOR: Carlos Alberto Tisalema Tasigchana**

**TUTORA: Ing. M.Sc. Maritza Elizabeth Ureña Aguirre**

**AMBATO – ECUADOR**

**Marzo – 2023**

## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutora del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema **“COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN ENTRE EL HORMIGÓN SIMPLE Y EL HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRA DE CARBONO”**, elaborado por el Sr. **Carlos Alberto Tisalema Tasigchana**, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 1805332721, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente Trabajo Experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, marzo 2023

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized, overlapping loops and lines, positioned above a horizontal dotted line.


**Ing. M.Sc. Maritza Elizabeth Ureña Aguirre**

**TUTORA**

## AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **Carlos Alberto Tisalema Tasigchana** con C.I. 1805332721, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental con el tema: **“COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN ENTRE EL HORMIGÓN SIMPLE Y EL HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRA DE CARBONO”**, así como también los análisis estadísticos, tablas, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, marzo 2023



.....  
**Carlos Alberto Tisalema Tasigchana**

**C.I. 1805332721**


**AUTOR**

## DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, marzo 2023



**Carlos Alberto Tisalema Tasigchana**

**C.I. 1805332721**


**AUTOR**

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Carlos Alberto Tisalema Tasigchana, de la Carrera de Ingeniería Civil, bajo el tema: **“COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN ENTRE EL HORMIGÓN SIMPLE Y EL HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRA DE CARBONO”**.


Ambato, marzo 2023

Para constancia firman:



.....  
Ing. Mg. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera

**MIEMBRO CALIFICADOR**



.....  
Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano Mg.

**MIEMBRO CALIFICADOR**

## DEDICATORIA

*El presente trabajo experimental está dedicado en primer lugar a Dios por guiarme en cada paso de mi vida, dándome esperanzas y fuerzas para seguir adelante.*

*A mis padres Carlos Hernán Tisalema y María Tasigchana, que son su ejemplo, me han enseñado el camino del esfuerzo y de la humildad, acompañándome y aconsejándome en cada momento.*

*A mi hermano Santiago Tisalema, que es mi inspiración y ejemplo, para aprender de las lecciones de la vida y nunca rendirme.*

*A mis sobrinos Josue, Esteban y Diego, por ser una fuente de motivación para poder superarme y de esa manera llegar a ser un ejemplo para ellos.*

*A mi abuelita Carmen Cenaida Toscano, que ya no se encuentra físicamente entre nosotros, pero que desde el cielo sé que nunca ha dejado de apoyarme.*

*Finalmente, quiero dedicar esta tesis a mis amigos y familiares, que me han acompañado y ayudado en el trayecto de mi carrera universitaria.*

*Carlos Alberto Tisalema Tasigchana*

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero brindar mi agradecimiento a la Universidad Técnica de Ambato, en particular a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, por abrirme las puertas para formar parte como estudiante de tan prestigiosa institución de educación superior, y a su vez permitirme realizar este trabajo experimental dentro de sus instalaciones.

A mi tutora Ing. M.Sc. Maritza Elizabeth Ureña, por su paciencia, orientación, guía y su tiempo entregado a lo largo de este trabajo.

A todos los docentes, por transmitir sus conocimientos que han permitido formarme como profesional.

Al personal de los laboratorios de la carrera de Ingeniería Civil, por su ayuda y colaboración en el desarrollo de este proyecto.

A mi hermano Santiago Tisalema, que con sus consejos brindados me han servido de base para poder realizar mi tesis.

A mis compañeros y amistades que me han dado su apoyo en todo este proceso.

Finalmente, y no menos importante, quiero agradecer a mis padres, sin ellos no sería posible este momento.

Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	iii
DERECHOS DE AUTOR .....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICAS .....	xv
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xvi
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS .....	xvi
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT.....	xx
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Antecedentes Investigativos.....	1
1.1.1 Antecedentes .....	1
1.1.2 Justificación.....	5
1.1.3 Fundamentación Teórica.....	7
1.1.3.1 Áridos.....	7
1.1.3.1.1 Agregado fino.....	7
1.1.3.1.2 Propiedades de los agregados finos.....	8
1.1.3.1.3 Agregado grueso .....	10
1.1.3.1.4 Propiedades de los agregados gruesos .....	11

1.1.3.2	Cemento .....	13
1.1.3.2.1	Clasificación del cemento .....	13
1.1.3.2.2	Cemento Portland.....	14
1.1.3.2.3	Proceso de fabricación del cemento portland.....	14
1.1.3.2.4	Clasificación del cemento portland.....	17
1.1.3.2.5	Densidad real del cemento .....	19
1.1.3.3	Hormigón .....	19
1.1.3.3.1	Propiedades del hormigón fresco .....	20
1.1.3.3.2	Propiedades del hormigón endurecido .....	22
1.1.3.3.3	Curado del hormigón .....	24
1.1.3.3.4	Agua en el hormigón.....	24
1.1.3.3.5	Cloruros en el concreto .....	25
1.1.3.3.6	Método de dosificación de Densidad Óptima .....	25
1.1.3.3.7	Esquemas de falla en el concreto .....	26
1.1.3.4	Fibras.....	27
1.1.3.4.1	Clasificación de las fibras .....	27
1.1.3.4.2	Fibras naturales .....	27
1.1.3.4.3	Fibras artificiales.....	28
1.1.3.4.4	Fibras sintéticas.....	28
1.1.3.5	Fibra de Carbono.....	28
1.1.3.5.1	Componentes de la fibra de carbono.....	29
1.1.3.5.2	Criterios de producción.....	29
1.1.3.5.3	Resina.....	30
1.1.3.5.4	Ventajas de la fibra de carbono.....	30
1.2	Objetivos .....	31
1.2.1	General: .....	31
1.2.2	Específicos: .....	31

CAPÍTULO II .....	32
METODOLOGÍA .....	32
2.1 Materiales y Equipos.....	32
2.1.1 Materiales.....	32
2.1.2 Equipos.....	34
2.2 Métodos.....	41
2.2.1 Descripción de las características iniciales de las probetas. ....	43
2.2.2 Ejecución de ensayos de laboratorio previos en los agregados y en el cemento que se utilizarán en la elaboración de las probetas de hormigón.....	44
2.2.3 Elaboración de probetas de hormigón simple y el hormigón reforzado con fibras de carbono. ....	46
2.2.3.1 Dosificación del Hormigón .....	47
2.2.3.2 Población y muestra .....	54
2.2.3.3 Proceso de colocación de la lámina de fibra de carbono .....	55
2.2.4 Realización de pruebas de ensayo a compresión .....	56
2.2.5 Procesamiento de datos y análisis de la información.....	56
CAPÍTULO III .....	57
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	57
3.1 Análisis y discusión de resultados .....	57
3.1.1 Ensayos de laboratorio previos en los agregados y en el cemento .....	57
3.1.2 Determinación de las propiedades del hormigón en estado fresco .....	67
3.1.3 Propiedades de los cilindros de hormigón en estado endurecido.....	71
3.1.4 Análisis de precios unitarios .....	92
3.2 Verificación de hipótesis.....	94
CAPÍTULO IV .....	97
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	97
4.1 Conclusiones .....	97

4.2 Recomendaciones.....	100
C. MATERIALES DE REFERENCIA.....	102
Referencias Bibliográficas .....	102
Anexos .....	117
Anexos Fotográficos .....	117

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Límites para las sustancias perjudiciales en el agregado fino.....	8
<b>Tabla 2.</b> Límites de porcentaje que debe pasar el árido fino.....	9
<b>Tabla 3.</b> Límites de porcentaje que debe pasar el árido grueso de un número de tamaño 6.....	12
<b>Tabla 4.</b> Clasificación del cemento según la normativa NTE INEN 152 .....	17
<b>Tabla 5.</b> Clasificación del cemento en base a la norma NTE INEN 490 .....	18
<b>Tabla 6.</b> Clasificación del cemento basado en la norma NTE INEN 2380.....	18
<b>Tabla 7.</b> Clasificación de consistencias según los asentamientos medidos con el ensayo de cono de Abrams.....	21
<b>Tabla 8.</b> Esquema de fallas del concreto según la normativa NTE INEN 1573 .....	26
<b>Tabla 9.</b> Materiales.....	32
<b>Tabla 10.</b> Equipos.....	34
<b>Tabla 11.</b> Datos de ensayos preliminares para el Método de Densidad Óptima.....	47
<b>Tabla 12.</b> Cantidad de pasta en función del asentamiento .....	48
<b>Tabla 13.</b> Relación W/C en función de la resistencia a compresión a los 28 días de edad .....	49
<b>Tabla 14.</b> Dosificación al peso .....	51
<b>Tabla 15.</b> Dosificación para 1 saco de cemento (50 Kg) .....	51
<b>Tabla 16.</b> Volumen de hormigón necesario para los cilindros (VCH).....	52
<b>Tabla 17.</b> Dosificación para el volumen necesario de los cilindros de hormigón.....	52
<b>Tabla 18.</b> Corrección de la dosificación por humedad.....	53
<b>Tabla 19.</b> Dosificación de hormigón para cilindros .....	53
<b>Tabla 20.</b> Cuadro de ensayo para el proyecto de tipo experimental .....	54
<b>Tabla 21.</b> Análisis granulométrico del agregado fino .....	57
<b>Tabla 22.</b> Límites y porcentaje que pasa el árido fino .....	58
<b>Tabla 23.</b> Análisis granulométrico del agregado grueso .....	59
<b>Tabla 24.</b> Límites y porcentaje que pasa el árido grueso .....	59
<b>Tabla 25.</b> Densidad aparente suelta y compactada del agregado fino.....	60
<b>Tabla 26.</b> Densidad aparente suelta y compactada del agregado grueso .....	61
<b>Tabla 27.</b> Densidad aparente compactada de la mezcla de agregado fino y grueso I.....	61

<b>Tabla 28.</b> Densidad aparente compactada de la mezcla de agregado fino y grueso II .....	62
<b>Tabla 29.</b> Porcentajes máximos y óptimos de la mezcla de agregados.....	63
<b>Tabla 30.</b> Densidad real del agregado grueso .....	63
<b>Tabla 31.</b> Capacidad de absorción del agregado grueso .....	63
<b>Tabla 32.</b> Densidad real del agregado fino.....	64
<b>Tabla 33.</b> Capacidad de absorción del agregado fino .....	64
<b>Tabla 34.</b> Densidad real del cemento .....	65
<b>Tabla 35.</b> Contenido de humedad del agregado fino.....	65
<b>Tabla 36.</b> Contenido de humedad del agregado grueso .....	66
<b>Tabla 37.</b> Propiedades de los cilindros de hormigón de $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ con denominación “HS” en estado fresco.....	67
<b>Tabla 38.</b> Propiedades de los cilindros de hormigón de $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ con denominación “FC” en estado fresco .....	69
<b>Tabla 39.</b> Densidad y resistencia a compresión del hormigón simple en estado endurecido a los 7 días de edad.....	71
<b>Tabla 40.</b> Densidad y resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido reforzado con fibras de carbono a los 7 días de edad.....	72
<b>Tabla 41.</b> Densidad y resistencia a compresión del hormigón simple en estado endurecido a los 14 días de edad.....	73
<b>Tabla 42.</b> Densidad y resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido reforzado con fibras de carbono a los 14 días de edad.....	74
<b>Tabla 43.</b> Densidad y resistencia a compresión del hormigón simple en estado endurecido a los 21 días de edad.....	75
<b>Tabla 44.</b> Densidad y resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido reforzado con fibras de carbono a los 21 días de edad.....	76
<b>Tabla 45.</b> Densidad y resistencia a compresión del hormigón simple en estado endurecido a los 28 días de edad.....	77
<b>Tabla 46.</b> Densidad y resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido reforzado con fibras de carbono a los 28 días de edad.....	78
<b>Tabla 47.</b> Densidad y resistencia a compresión del hormigón simple en estado endurecido a los 28 días de edad (14 días en cámara de curado y 14 días expuesto a agua con sal).....	79

<b>Tabla 48.</b> Densidad y resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido reforzado con fibras de carbono a los 28 días de edad (14 días en cámara de curado y 14 días expuesto a agua con sal) .....	80
<b>Tabla 49.</b> Resistencias a compresión promedio del hormigón simple .....	81
<b>Tabla 50.</b> Resistencias a compresión promedio del hormigón reforzado con fibras de carbono .....	82
<b>Tabla 51.</b> Esquema de fallas del concreto .....	91
<b>Tabla 52.</b> Análisis de precios unitarios del hormigón simple .....	92
<b>Tabla 53.</b> Análisis de precios unitarios del hormigón reforzado con fibras de carbono .....	93
<b>Tabla 54.</b> Ensayo de análisis granulométrico .....	117
<b>Tabla 55.</b> Ensayo de densidad real y capacidad de absorción de los agregados .....	118
<b>Tabla 56.</b> Ensayo de densidad real del cemento .....	119
<b>Tabla 57.</b> Ensayo de densidad aparente suelta y compactada del agregado grueso .....	119
<b>Tabla 58.</b> Ensayo de densidad aparente suelta y compactada del agregado fino ....	119
<b>Tabla 59.</b> Ensayo de densidad aparente compactada de la mezcla de agregado grueso y agregado fino .....	120
<b>Tabla 60.</b> Ensayo de contenido de humedad .....	121
<b>Tabla 61.</b> Preparación de la mezcla de concreto .....	122
<b>Tabla 62.</b> Determinación del Asentamiento .....	123
<b>Tabla 63.</b> Determinación de la densidad del concreto en estado fresco .....	124
<b>Tabla 64.</b> Elaboración de las probetas de hormigón .....	125
<b>Tabla 65.</b> Determinación de la densidad del concreto en estado endurecido .....	126
<b>Tabla 66.</b> Colocación de la fibra de carbono en los cilindros de hormigón .....	127
<b>Tabla 67.</b> Determinación de la densidad del concreto en estado endurecido reforzado con fibra de carbono .....	128
<b>Tabla 68.</b> Colocación de las probetas de hormigón seleccionadas para exponerlas en agua con sal .....	129
<b>Tabla 69.</b> Ensayos a Compresión .....	130

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

<b>Gráfica 1.</b> Análisis granulométrico del agregado fino .....	58
<b>Gráfica 2.</b> Análisis granulométrico del agregado grueso .....	60
<b>Gráfica 3.</b> Densidad aparente compactada de la mezcla de agregado fino y grueso	62
<b>Gráfica 4.</b> Resistencia a compresión promedio del hormigón simple a los 7, 14, 21 y 28 días .....	81
<b>Gráfica 5.</b> Resistencia a compresión promedio del hormigón reforzado con fibras de carbono a los 7, 14, 21 y 28 días .....	82
<b>Gráfica 6.</b> Comparativo de las resistencias a compresión del hormigón simple y el hormigón reforzado con fibras de carbono a los 7 días de edad .....	83
<b>Gráfica 7.</b> Comparativo de las resistencias a compresión del hormigón simple y el hormigón reforzado con fibras de carbono a los 14 días de edad .....	84
<b>Gráfica 8.</b> Comparativo de las resistencias a compresión del hormigón simple y el hormigón reforzado con fibras de carbono a los 21 días de edad .....	85
<b>Gráfica 9.</b> Comparativo de las resistencias a compresión del hormigón simple y el hormigón reforzado con fibras de carbono a los 28 días de edad .....	86
<b>Gráfica 10.</b> Comparativo de las resistencias a compresión del hormigón simple y el hormigón reforzado con fibras de carbono a los 28 días de edad (14 días en la cámara de curado y 14 días en agua con sal) .....	87
<b>Gráfica 11.</b> Comparativo de las resistencias a compresión del hormigón simple a los 28 días de edad .....	88
<b>Gráfica 12.</b> Comparativo de las resistencias a compresión del hormigón reforzado con fibras de carbono a los 28 días de edad .....	89
<b>Gráfica 13.</b> Comparativo de la resistencia a compresión promedio del hormigón simple y el hormigón reforzado con fibras de carbono a los 7, 14, 21 y 28 días .....	90

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1.</b> Muestra de agregado fino .....	8
<b>Ilustración 2.</b> Muestra de agregado grueso .....	11
<b>Ilustración 3.</b> Esquema del proceso de fabricación del cemento portland.....	16
<b>Ilustración 4.</b> Hormigón en estado fresco .....	20
<b>Ilustración 5.</b> Ensayo de cono de Abrams .....	21
<b>Ilustración 6.</b> Fibra de carbono .....	29

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

<b>Fotografía 1.</b> Esquema de falla del hormigón simple (Falla Tipo 3).....	91
<b>Fotografía 2.</b> Esquema de falla del hormigón reforzado con fibras de carbono (no se evidencia falla).....	91
<b>Fotografía 3.</b> Agregado grueso de tamaño nominal máximo de 19 mm.....	117
<b>Fotografía 4.</b> Agregado fino a ser ensayado .....	117
<b>Fotografía 5.</b> Granulometría del agregado grueso .....	117
<b>Fotografía 6.</b> Granulometría del agregado fino .....	117
<b>Fotografía 7.</b> Densidad real del agregado grueso .....	118
<b>Fotografía 8.</b> Densidad real del agregado fino.....	118
<b>Fotografía 9.</b> Capacidad de absorción del agregado grueso .....	118
<b>Fotografía 10.</b> Capacidad de absorción del agregado fino.....	118
<b>Fotografía 11.</b> Densidad real del cemento .....	119
<b>Fotografía 12.</b> Densidad aparente suelta y compactada del agregado grueso .....	119
<b>Fotografía 13.</b> Densidad aparente suelta y compactada del agregado fino.....	119
<b>Fotografía 14.</b> Densidad aparente compactada de la mezcla de agregado grueso y agregado fino.....	120
<b>Fotografía 15.</b> Peso del agregado fino con contenido de humedad .....	121
<b>Fotografía 16.</b> Peso del agregado fino en estado seco .....	121
<b>Fotografía 17.</b> Peso del agregado grueso con contenido de humedad .....	121
<b>Fotografía 18.</b> Peso del agregado grueso en estado seco.....	121

<b>Fotografía 19.</b> Materiales para elaborar la mezcla de concreto .....	122
<b>Fotografía 20.</b> Moldes de acero para cilindros de hormigón .....	122
<b>Fotografía 21.</b> Preparación de los moldes.....	122
<b>Fotografía 22.</b> Mezcla de hormigón.....	122
<b>Fotografía 23.</b> Ensayo de Cono de Abrams .....	123
<b>Fotografía 24.</b> Medición del Asentamiento .....	123
<b>Fotografía 25.</b> Registro de pesos de los moldes con el hormigón en estado fresco	124
<b>Fotografía 26.</b> Colocación del hormigón por capas .....	125
<b>Fotografía 27.</b> Reposo de los moldes con el concreto fresco para el curado inicial	125
<b>Fotografía 28.</b> Desencofrado de los cilindros de hormigón.....	125
<b>Fotografía 29.</b> Curado de las probetas de hormigón.....	125
<b>Fotografía 30.</b> Retiro de los cilindros de hormigón de la cámara de curado .....	126
<b>Fotografía 31.</b> Medición y registro de las dimensiones de los cilindros de hormigón en estado endurecido .....	126
<b>Fotografía 32.</b> Registro de los pesos de las probetas de hormigón en estado endurecido .....	126
<b>Fotografía 33.</b> Retiro de los cilindros de hormigón de la cámara de curado .....	127
<b>Fotografía 34.</b> Impregnación del adhesivo en base a resinas tanto en el hormigón como en la fibra de carbono .....	127
<b>Fotografía 35.</b> Reposo de los cilindros de hormigón y de las fibras de carbono impregnados del adhesivo en base a resinas .....	127
<b>Fotografía 36.</b> Colocación de la fibra de carbono en la probeta de concreto .....	127
<b>Fotografía 37.</b> Espera de un lapso de tiempo para que el adhesivo alcance la mayor fuerza de unión posible entre el hormigón y la fibra de carbono.....	128
<b>Fotografía 38.</b> Medición y registro de las dimensiones de los cilindros de hormigón en estado endurecido reforzado con fibra de carbono.....	128
<b>Fotografía 39.</b> Registro de los pesos de las probetas de hormigón en estado endurecido reforzado con fibra de carbono .....	128
<b>Fotografía 40.</b> Recipientes para el agua con sal.....	129
<b>Fotografía 41.</b> Colocación de las probetas en los recipientes que contienen agua con sal .....	129
<b>Fotografía 42.</b> Medición de las dimensiones de los cilindros del concreto .....	129
<b>Fotografía 43.</b> Registro de los pesos de las probetas de hormigón.....	129

<b>Fotografía 44.</b> Ensayo a compresión a las probetas de hormigón simple.....	130
<b>Fotografía 45.</b> Ensayo a compresión a las probetas de hormigón reforzado con fibra de carbono .....	130
<b>Fotografía 46.</b> Esquema de falla del hormigón simple .....	130
<b>Fotografía 47.</b> Esquema de falla del hormigón reforzado con fibras de carbono...	130

## RESUMEN

El siguiente trabajo experimental surge debido a la falta de estudios que involucren a las fibras de carbono como refuerzo para el hormigón y su influencia en la resistencia a compresión del material dentro del ámbito local.

Por tal situación, se comparó el parámetro de resistencia a compresión entre un grupo de cilindros elaborados con una dosificación de hormigón simple y otro conjunto de probetas fabricadas con el mismo tipo de concreto, pero reforzadas con un recubrimiento de fibra de carbono, de esa forma se analizaron los beneficios del uso de la fibra.

La investigación es de tipo experimental, puesto que se compararon dos grupos de cilindros de hormigón aplicando pruebas de ensayo a compresión basadas en las normativas ASTM C39 y NTE INEN 1573. Los ensayos se realizaron en 30 cilindros diseñados para una resistencia a compresión a los 28 días de 210 Kg por centímetro cuadrado mediante el método de “Densidad Óptima” de la Universidad Central del Ecuador.

Se alcanzaron resultados positivos en la resistencia a compresión, evidenciando que al reforzar con la fibra de carbono al hormigón se obtuvo incrementos en el parámetro de resistencia, alcanzando a los 7 días un 16.11 por ciento, a los 14 días un 17.04 por ciento, a los 21 días un 17.94 por ciento y a los 28 días un aumento del 18.01 por ciento con respecto a la resistencia a compresión del hormigón tradicional, comprobando su factibilidad de uso como refuerzo a compresión en el hormigón.

**Palabras Clave:** Resistencia a compresión, Hormigón reforzado, Fibras de carbono, Cilindros de hormigón, Dosificación del hormigón, Concreto.

## ABSTRACT

This experimental work arises due to the lack of studies involving carbon fibers as reinforcement for concrete and its influence on the compressive stress, so, this research compares the compressive stress between a group of cylinders made with simple concrete and with another made of the same type of concrete, but reinforced with a carbon fiber coating, in order to analyze the benefits of the use of the fiber.

The research is experimental, because I compare two groups of concrete cylinders by applying compression tests based on ASTM C39 and NTE INEN 1573 standards. The tests were carried out with a total of 30 cylinders designed for a compressive stress of 210 Kg per square centimeter using the "Optimum Density" method of the Central University of Ecuador.

Positive results were achieved with respect to compressive stress, showing that carbon fiber reinforced concrete increases the compressive stress, obtaining an increment of 16.11 percent at 7 days, 17.04 percent at 14 days, 17.94 percent at 21 days and 18.01 percent at 28 days, compared with the traditional concrete, proving that it is feasible to use carbon fiber as a compressive reinforcement in concrete.

**Keywords:** Compressive stress, Reinforced concrete, Carbon fibers, Concrete cylinders, Concrete dosage, Concrete.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1 Antecedentes Investigativos

#### 1.1.1 Antecedentes

A lo largo de la historia, el ser humano en vista de la necesidad de refugio empezó a usar materiales de su entorno como piedras, breas de petróleo, cal y demás para usarlos en la construcción de refugios lo suficientemente útiles para que sean duraderos y a su vez cumplan su misión de proporcionar un lugar para refugiarse de peligros externos, es de esa forma como desde épocas de civilizaciones antiguas el ser humano ha ido en búsqueda de materiales de construcción con mejores características que satisfagan tal necesidad, en vista de esa búsqueda, en el antiguo Egipto aproximadamente por el año 2750 a. C. se comienza a experimentar con mezclas de yesos y calizas disueltas en agua con el objetivo de unir bloques de piedra y de esa forma levantar construcciones como es el caso de la Gran Pirámide de Gizeh, incluso hay indicios de que con la misma técnica se levantó el Mural de Tebas por el año 1950 a. C. conservando en escenas pictóricas tales pruebas [1].

Al igual que los egipcios con sus avances en construcción, los romanos y griegos no se quedaron atrás, y es de esa manera que aproximadamente en el año 400 a. C. en Roma se descubre un material muy peculiar, y este es el caso del llamado “cemento romano”, tal material era el producto de una mezcla entre cal, grasa animal, sangre, leche, y una ceniza volcánica conformada por sílice y alúmina denominada puzolana cuyo origen proviene de depósitos volcánicos del monte Vesubio, tal combinación proporcionaba un mortero con propiedades idénticas al hormigón actual [2]. Tal fue la habilidad de los romanos en usar los materiales disponibles en los territorios que controlaban para usarlos en la construcción que tales infraestructuras han demostrado ser duraderas con el paso de los siglos, y este es el caso del anfiteatro de Pompeya

(construido aproximadamente por el año 75 a. C.), del Coliseo Romano (construido aproximadamente por el año 82 a. C.) y del Panteón de Roma (construido aproximadamente por el año 127 a. C.) [3].

Debido a la caída del imperio nacido en Roma, el uso del cemento romano como material de construcción decayó, y no es hasta el año de 1759 cuando el ingeniero de origen británico John Smeaton con el objetivo de la reconstrucción del Faro Eddystone tiene la idea de usar un mortero con propiedades idénticas al cemento romano para unir bloques de piedra que darían forma al faro ubicado en el territorio británico de Gales, tal mortero sería el producto de la mezcla de cal y arcilla. Es de esta manera que inicia la era del hormigón moderno [4].

Surgieron avances significativos en los años posteriores a la construcción del Faro Eddystone, y es que en 1796 el clérigo James Parker registra la patente de un tipo de cemento que se denominó “cemento romano” y que fue creado por accidente al quemar piedras calizas arcillosas de la isla de Sheppey en Inglaterra [5]. Años más tarde, del ingenio de Louis Vicat se establecen las bases del cemento artificial, gracias a su investigación acerca de los aglomerantes hidráulicos y sus tiempos de fraguado, en el cual el ingeniero francés descubre un aglomerante hidráulico al cual se puede controlar su tiempo de fraguado, y a su vez que tal aglomerante puede producirse con la materia prima de cualquier lugar [6]. En Reino Unido por el año de 1824, Joseph Aspdin produce y patenta el cemento hidráulico artificial que se denominó “Cemento Portland”, tal hazaña fue posible gracias a la mezcla de piedra caliza arcillosa y carbón que al calcinarlos a una alta temperatura se lograba formar el aglomerante. El material creado por Aspdin revolucionaría el mundo de la construcción, y aunque en sus inicios el material no era empleado de forma masiva, con los avances tecnológicos se convirtió en uno de los materiales de construcción más comunes y utilizados [1] [3] [7].

A la vez que se mejoraba los procesos de fabricación del cemento y en paralelo a la evolución del concreto, los ensayos para asegurar la calidad del material, el uso de aditivos para mejorar las propiedades del material y la puesta en obra del mismo, se había encontrado la posibilidad de emplear diversas fibras al material para reducir los inconvenientes que puede presentar el hormigón [4]. Entre las fibras que se comienzan a emplear como refuerzo al hormigón se encuentra la fibra de carbono, de la cual se trata el proyecto de investigación.

En el año de 1879, el inventor norteamericano Thomas Alba Edison patenta la fibra de carbono como un filamento que se usaría en la bombilla eléctrica, obtenida de hornear a elevadas temperaturas las tiras de algodón o tiras de bambú [8]. No es hasta el año de 1958, que en la ciudad de Cleveland, estado de Ohio en USA, se fabrica por primera vez la fibra de carbono de alto rendimiento que se creaba en base a carbonatar filamentos de rayón calentándolos, sin embargo este proceso conseguido por Roger Bacon no fue tan eficaz como se esperaba, debido a que tales fibras apenas estaban compuestas por un porcentaje de carbono del 20 % [9]. A partir de los años 60 en Japón se comienza a desarrollar procesos de fabricación de la fibra de carbono usando como materia prima al poliacrilonitrilo denominado comúnmente como PAN, y es de esa forma que Akio Shindo, miembro de una agencia de tecnología industrial avanzada del país asiático, consigue producir fibras con un porcentaje de carbono del 55 %, con eso se había logrado un porcentaje mayor al conseguido en 1958 por Bacon [10]. La fibra de carbono comienza a utilizarse en los compresores de los motores de aviones por parte de la empresa Rolls-Royce de Reino Unido, pero debido a la vulnerabilidad al impacto de aves en los motores de aviones y a la baja rentabilidad del material se abandonó la producción [10]. La empresa que aprovechó la producción de fibra de carbono en ese tiempo fue la de Courtaulds, quienes se involucraron en la industria aeroespacial y el equipamiento deportivo usando fibra de carbono, y desde ese momento se empezó a usar en diversos campos y objetos [9]. Con la evolución del proceso de fabricación de la fibra de carbono se consigue que la fibra tenga un porcentaje de carbono del 95 % al 99 % [8].

En las últimas décadas el uso de fibras sintéticas como una alternativa para reforzar estructuras y en este caso específico el hormigón, como es el caso de la fibra de carbono, se ha vuelto más conocido, y es debido a sus beneficios, al otorgar mayor resistencia mecánica y mayor resistencia a la corrosión [8] [11].

Las fibras sintéticas que son parte de la industria textil y petroquímica han demostrado otorgar al concreto un mejor comportamiento en cuanto a su resistencia a flexión y compresión, por lo que el uso de esas fibras en el hormigón ha sido parte de varias investigaciones, entre las cuales se puede mencionar a la investigación de la autora Johana Lizbeth Núñez Meneses del año de 2016 con el tema “Análisis comparativo de la resistencia a compresión del hormigón común con el hormigón adicionado fibras de

nylon, utilizando agregados existentes en la provincia de Pastaza”, en la cual se realiza una comparación en base a ensayos a compresión entre probetas de hormigón simple de  $210 \text{ Kg/cm}^2$  y probetas de hormigón reforzado con fibras de Nylon de longitudes de  $3/4''$  y  $2''$ , en tal trabajo investigativo se comprobó que el hormigón reforzado con fibra presenta mayor resistencia que el concreto simple, además que se modifica las propiedades de trabajabilidad y consistencia del material [11].

Uno de los antecedentes investigativos a mencionar es la investigación de los autores Antonio Duran y Carlos España del año 2018 con el tema “Determinación de patologías estructurales y comportamiento de vigas a esfuerzos de flexión reforzadas con fibra de carbono” elaborado en la ciudad Guayaquil-Ecuador que logra evidenciar que en base a ensayos a flexión que el hormigón reforzado con fibras de carbono presenta un alto porcentaje de resistencia a flexión teniendo en cuenta que el hormigón simple no trabaja a flexión [12]. Además se deja claro que entre los beneficios encontrados al concreto reforzado con fibras de carbono externamente están que al ser la fibra un material liviano no aumenta el peso del material de forma significativa, permitiendo grandes resistencias sin aumento considerable de peso [13] [12]. Adicionalmente, otro antecedente investigativo relacionado a la fibra de carbono, y en específico a su uso como refuerzo a compresión que es el objetivo del proyecto a desarrollar es del autor Ronald Miguel Gutiérrez del año 2019 bajo el tema “Resistencia a la compresión axial de probetas de concreto  $f'c$   $210 \text{ Kg/cm}^2$ , reforzadas externamente con platinas de fibra de carbono” realizado en Cajamarca-Perú, en el cual a base de ensayos a compresión entre probetas de hormigón de resistencia de  $210 \text{ Kg/cm}^2$  con probetas de hormigón reforzado con platinas de fibra de carbono se logró comprobar que la resistencia del concreto aumenta con la incorporación de fibras de carbono en el hormigón [13].

### 1.1.2 Justificación

Actualmente el material de la fibra de carbono es usado a nivel mundial para reforzamientos en muchas de las estructuras que han superado su vida útil o que requieren una intervención para restaurar su capacidad de resistencia [8], y en base a esa necesidad se han hecho estudios en relación a su uso como refuerzo del hormigón. [14] La fibra de carbono al ser un material de gran durabilidad, flexibilidad y ligero se ha convertido dentro de la construcción en un material de vanguardia, un ejemplo de que el material está siendo reconocido a nivel del mundo y de países desarrollados es la edificación de la compañía japonesa “Komatsu Seiren Fabric Laboratory”, en el cual usaron el material revestido con una resina termoplástica para que la estructura alcance un alto grado de resistencia ante los eventos telúricos; e incluso dentro del ámbito regional se puede mencionar que el material ha sido abordado en estudios experimentales en países vecinos de la región como Perú y Colombia, como es el caso del trabajo experimental “ Resistencia a la compresión axial de probetas de concreto  $f_c$  210 Kg/cm<sup>2</sup>, reforzadas externamente con platinas de fibra de carbono” del autor Ronald Miguel Gutiérrez del año 2018 [13], o como el trabajo experimental de Andrés Beltrán Riveros del año 2011 con el tema de «Uso de fibras de carbono como reforzamiento a flexión en vigas de concreto reforzado» [14], encontrando que en ambos trabajos se llega a la conclusión de que la resistencia del concreto aumenta con la incorporación de fibras de carbono en el hormigón, en esta parte se puede indicar que en el caso del estudio del señor Gutiérrez ya se está abordando a la fibra de carbono como refuerzo de probetas sometidas a compresión con resultados favorables, por lo que a pesar de que el material es usado comúnmente como refuerzo a flexión si puede ser usado como refuerzo del hormigón a compresión [13] [14].

Lo que este proyecto busca es expandir el conocimiento que se tiene hasta el momento, especialmente en el Ecuador, donde el material tiene un costo elevado en comparación con otros materiales que se han aplicado como refuerzo al concreto, como es el caso de la fibra de vidrio tradicional, pero así como su costo es alto también se debe mencionar que las propiedades del material son prometedoras [15]. Se puede indicar que a nivel nacional existen algunos estudios que han abordado al material dentro de sus investigaciones, tal es el caso de la tesis de los autores Antonio Duran y Carlos

España del año 2018 con el tema “Determinación de patologías estructurales y comportamiento de vigas a esfuerzos de flexión reforzadas con fibra de carbono” elaborado en la ciudad Guayaquil, en el cual concluyeron que las vigas de hormigón simple reforzada con fibra de carbono presentan un alto porcentaje de resistencia a flexión teniendo en cuenta que el hormigón simple no trabaja a flexión, además se deja claro que entre los beneficios encontrados están que al ser un material liviano no aumenta el peso de la estructura, permitiendo grandes resistencias sin aumento considerable de peso [12]. En el ámbito local cabe señalar el puente Luis A. Martínez, ubicado en Ambato, y que en su reparación requirió el uso de la fibra de carbono como reforzamiento estructural en las vigas del mismo. En la ciudad de Ambato, una de las empresas que se dedican a la comercialización de la fibra de carbono está ubicada en el sector del Estadio Bellavista y en el sector de Samanga [15].

El motivo para realizar este trabajo experimental surge debido a la falta de estudios que involucren a las fibras de carbono como refuerzo para el hormigón y su influencia en la resistencia a compresión del material dentro del ámbito nacional. La existencia de un material con baja expansión térmica, alta rigidez y alta resistencia [15] hace necesario que se tome en consideración al mismo como parte de la experimentación para que al incorporar tal refuerzo se pueda obtener mejoras en las propiedades mecánicas del hormigón, en especial en su resistencia a la compresión.

La información que se origine durante la investigación permitirá tener una base experimental acerca del comportamiento a compresión del concreto reforzado con fibras de carbono, cuyos beneficiarios serán los profesionales de ingeniería civil y estudiantes de la carrera, de esa forma se incentiva la investigación a futuro del material y sus posibilidades de uso en la construcción civil.

Ante toda la problemática enunciada anteriormente el objetivo principal del trabajo experimental es realizar una comparación de la resistencia a la compresión entre el hormigón simple y el hormigón reforzado con fibras de carbono.

### **1.1.3 Fundamentación Teórica**

#### **1.1.3.1 Áridos**

Al momento de hacer mención de los áridos, se puede decir que equivalen a partículas consideradas inertes y que conforman parte de los materiales que se utilizan en la construcción civil, puesto que este material al juntarse con materiales como el cemento y agua en proporciones determinadas forma un nuevo material conocido con el nombre concreto o también denominado hormigón, es por tal causa que su aplicación es vital en la construcción de infraestructuras y edificios [16].

Los áridos son productos de un procedimiento de origen natural o artificial que tiene relación con la fragmentación de piedras y rocas, el resultado del proceso será el árido cuyas propiedades obtenidas estarán definidas en base a normativas de cada país, en el caso de Ecuador los agregados deben cumplir la norma NTE INEN 872 cuyos requerimientos están relacionados al uso del material en el concreto, por lo que se puede decir que las propiedades de los agregados, como también se le conocen a los áridos, influirán en el comportamiento del hormigón puesto que conforman prácticamente tres cuartas partes del volumen del concreto [17].

##### **1.1.3.1.1 Agregado fino**

El agregado fino no es más que un árido cuyo tamaño de partículas está definido por los tamices granulométricos y sus aberturas, por lo que comúnmente el árido fino que se utiliza en la construcción traspasa el tamiz No. 4 (4.75 mm) y se retiene en el tamiz No. 200 (0.075 mm) [18]. En este caso, la funcionalidad del agregado fino en la mezcla de concreto es otorgarle cierta trabajabilidad a la mezcla de hormigón en estado fresco y a su vez rellenar los espacios en blanco [19].

De acuerdo con la normativa NTE INEN 872 la característica general del agregado fino es que está constituido ya sea de arena natural (extraída de canteras aluviales), de arena elaborada artificialmente por el ser humano o en su caso de una combinación entre los dos tipos de arena; a su vez esta arena debe estar libre de sustancias

perjudiciales como es el caso de arcillas, limos, carbón, lignitos, impurezas orgánicas o cualquier sustancia que reaccione negativamente con el cemento [20].

**Tabla 1.** Límites para las sustancias perjudiciales en el agregado fino

Detalle	Porcentaje de la muestra total, en masa. Máximo
Terrones de arcilla y partículas desmenuzables	3,0
Material más fino que 75 $\mu\text{m}$ : Hormigón sujeto a abrasión	3,0 <sup>A</sup>
Todos los demás hormigones	5,0 <sup>A</sup>
Carbón y lignito: Donde es importante la apariencia superficial del hormigón	0,5
Todos los demás hormigones	1,0
<sup>A</sup> En el caso de arena fabricada, si el material más fino que 75 $\mu\text{m}$ consiste en polvo de trituración, esencialmente libre de arcilla o esquisto, se permite incrementar estos límites a 5% y 7%, respectivamente.	

Fuente: [20]

**Ilustración 1.** Muestra de agregado fino



Fuente: [21]

### 1.1.3.1.2 Propiedades de los agregados finos

Las principales propiedades de los agregados finos son:

**Granulometría:** La granulometría se basa en la gradación de partículas de una muestra de arena mediante el uso de tamices de diferentes tamaños con el orden de las mallas de mayor tamaño a menor tamaño [22], para determinar la calidad del agregado fino en base a un análisis granulométrico [23]. Los límites que establece la normativa NTE INEN 872 para los áridos finos son los siguientes:

**Tabla 2.** Límites de porcentaje que debe pasar el árido fino

<b>Tamiz (pulgadas)</b>	<b>Tamiz (mm)</b>	<b>Límite Inferior (%)</b>	<b>Límite Superior (%)</b>
3/8"	9,50	100,00	100,00
No. 4	4,75	95,00	100,00
No. 8	2,36	80,00	100,00
No. 16	1,18	50,00	85,00
No. 30	0,60	25,00	60,00
No. 50	0,30	5,00	30,00
No. 100	0,15	0,00	10,00
No. 200	0,075	-	-

Fuente: [20]

**Módulo de finura:** El módulo de finura es un factor adimensional para garantizar la realización de un hormigón de calidad que deriva de la granulometría del agregado fino que determina el grosor o la finura que presenta la arena [22] y se basa en la sumatoria de los porcentajes retenidos acumulados de varios tamices y tal suma dividida para 100 % [24]. Los tamices que intervienen en el cálculo del módulo de finura son los siguientes:

- Tamiz No. 100 (0.15 mm).
- Tamiz No. 50 (0.30 mm).
- Tamiz No. 30 (0.60 mm).
- Tamiz No. 16 (1.18 mm).
- Tamiz No. 8 (2.36 mm).
- Tamiz No. 4 (4.75 mm).
- Tamiz de 3/8" (9.50 mm).

Para considerar a la arena adecuada para la mezcla de concreto en base al módulo de finura no debe ser menor que 2.3 y tampoco debe ser mayor a 3.1 [20].

**Gravedad Específica o Densidad Relativa:** Esta propiedad del agregado fino basada en la norma NTE INEN 856 [25] relaciona la masa de un volumen de arena tomando en cuenta la masa de agua dentro de los poros en el árido y la masa de agua de similar volumen a una temperatura específica, excluyendo a los vacíos entre las mismas partículas [26]. Según la normativa NTE INEN 694 la arena comúnmente dispone de una densidad relativa entre un valor de 2.4 gr/cm<sup>3</sup> y 3 gr/cm<sup>3</sup> [27].

**Contenido de Humedad:** El contenido de humedad determina mediante un porcentaje la cantidad de agua en la arena y el ensayo que se realiza para hallar tal valor está basado en la normativa NTE INEN 862 [28].

**Absorción:** La absorción es una propiedad que determina el incremento de la masa de la arena como resultado de la penetración de un líquido en sus poros permeables [29], el cálculo está establecido en la normativa NTE INEN 856 [25].

**Peso Volumétrico:** El peso volumétrico de la arena basado en la normativa NTE INEN 858 [30] se establece entre la masa unitaria del árido fino compacto o suelto y el volumen que ocupa el mismo [11]. En base a la normativa NTE INEN 694, la arena comúnmente dispone de un peso volumétrico entre un rango de valores de 1.120 Kg/dm<sup>3</sup> y 1.920 Kg/dm<sup>3</sup> [27].

#### 1.1.3.1.3 Agregado grueso

Al momento de mencionar al agregado grueso se puede decir que es un árido que se extrae de canteras ubicadas en localidades cercanas y que siguen un proceso de trituración hasta lograr los tamaños establecidos de agregados y sus respectivas propiedades [31], en este caso también se le puede denominar con el nombre de ripio y a su vez entre sus funcionalidades se encuentra la de dar cierta capacidad de resistencia mecánica al concreto [19]. El árido grueso se diferencia de la arena por su tamaño de partículas, por lo que el agregado grueso o ripio se separa del agregado fino

o arena por el tamiz No. 4 (4.75 mm), puesto que el agregado grueso no pasa de tal tamiz y en cambio el árido fino si traspasa ese tamiz [26]. Al igual que la arena, el ripio debe estar libre de sustancias como arcillas, limos, carbón, lignitos, impurezas orgánicas y demás, para de esta manera asegurar la calidad del hormigón y evitar cualquier cambio en la resistencia que afecte al material [20].

#### **Ilustración 2.** Muestra de agregado grueso



Fuente: [32]

#### **1.1.3.1.4 Propiedades de los agregados gruesos**

Entre las principales propiedades que tienen los agregados gruesos se encuentran las siguientes:

**Granulometría:** El concepto de granulometría está relacionada a la gradación de partículas de una muestra de árido grueso con el uso de tamices de distintos tamaños siguiendo un orden de mayor a menor hasta separar todo el ripio [22] [33], para después poder realizar un análisis de granulometría dependiendo de los límites en porcentaje que pasan cada tamiz que establece la normativa NTE INEN 872 para los áridos gruesos [7].

**Tabla 3.** Límites de porcentaje que debe pasar el árido grueso de un número de tamaño 6

<b>Tamiz (pulgadas)</b>	<b>Tamiz (mm)</b>	<b>Límite Inferior (%)</b>	<b>Límite Superior (%)</b>
1 1/2"	37,50	100,00	100,00
1"	25,00	100,00	100,00
3/4"	19,00	90,00	100,00
1/2"	12,50	20,00	55,00
3/8"	9,50	0,00	15,00
No. 4	4,75	0,00	5,00

Fuente: [20]

**Tamaño máximo nominal:** El tamaño máximo nominal es una derivación de la granulometría del árido grueso y equivale a la abertura del tamiz que se coloca inmediatamente superior al tamiz que pueda retener más del 15 % de la muestra de ripio, determinando de mejor manera las más grandes partículas del agregado grueso en base a su tamaño [34].

**Gravedad Específica o Densidad Relativa:** De forma similar al agregado grueso, el concepto de gravedad específica se relaciona a la masa de un volumen de ripio tomando en cuenta la masa de agua dentro de los poros en el árido y la masa de agua de similar volumen a una temperatura determinada, excluyendo los vacíos entre las partículas. Tomando en cuenta la normativa NTE INEN 694, la densidad relativa del ripio se encuentra entre un rango de 2.4 gr/cm<sup>3</sup> a 3 gr/cm<sup>3</sup> [27].

**Contenido de Humedad:** La definición de contenido de humedad está relacionado al porcentaje de agua que se encuentra disponible en la muestra de ripio seleccionada, cuyo ensayo para calcular tal porcentaje se encuentra detallado en la normativa NTE INEN 862 [28].

**Absorción:** Al tratar de darle un significado a la absorción, se puede deducir que esta propiedad que es compartida tanto entre el ripio y la arena se determina en base al incremento de la masa de ripio como resultado de la penetración de líquido en sus poros permeables [18]; la normativa NTE INEN 857 contiene el proceso a seguir en

el caso de los áridos gruesos, y en tal norma también se menciona el procedimiento que se debe seguir para calcular la gravedad específica [35].

**Peso Volumétrico:** De similar forma al concepto de peso volumétrico del agregado fino, el peso volumétrico del agregado grueso tiene base en la normativa NTE INEN 858 [30] y es la relación de la masa unitaria del ripio ya sea de forma compactada o suelta y el volumen que ocupa el agregado [26]. La norma NTE INEN 694 establece que el ripio al igual que la arena tiene un peso volumétrico que puede variar entre un rango de datos de  $1.120 \text{ Kg/dm}^3$  y  $1.920 \text{ Kg/dm}^3$  [27].

### 1.1.3.2 Cemento

Con respecto al cemento cabe mencionar que deriva del latín “caementum” que significa argamasa, esto es porque el cemento es una mezcla de varios materiales como es el caso de la piedra caliza, arcilla, yeso y aditivos químicos en un proceso térmico de producción en las que se juntas tales partículas para formar el conglomerante hidráulico del que se está hablando [36]. Al ser un conglomerante se trata de decir que el cemento es un material con capacidad de adherirse a otras partículas y darle una cohesión a tal unión, y al aludir que es un aglomerante hidráulico se busca indicar que fragua y endurece en condiciones saturadas de agua luego de ser combinado con la misma [37]. El cemento tiene la apariencia de un polvo fino y es el principal material que forma parte de la mezcla de hormigón, y es fundamental pues junto al agua intervienen en la resistencia mecánica del mismo [7].

#### 1.1.3.2.1 Clasificación del cemento

La clasificación del cemento con relación a su origen es la siguiente:

- **Cementos de origen arcilloso:** Los materiales que conforman este tipo de conglomerante hidráulico es la piedra caliza y la arcilla con una proporción de 4 a 1 respectivamente [38].

- **Cementos de origen puzolánico:** Este tipo de cemento tiene como ingredientes principales las puzolanas, que son partículas relacionadas con la sílice y que a su vez son conseguidas de origen volcánico [36].

#### 1.1.3.2.2 Cemento Portland

El cemento Portland es un tipo de conglomerante hidráulico formado por el conjunto de entre el 19 % y 25 % de sílice ( $\text{SiO}_2$ ), de cal ( $\text{CaO}$ ) con representación de entre el 62 % y 65 %, de yeso ( $\text{SO}_3$ ) con cantidad de 1.5 % y 4.5 %, con proporción de 3.5 % y 8 % de alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), con una representación de entre 2.5 % y 4.5 % de óxido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), con un componente de magnesia ( $\text{MgO}$ ) con una tasa de presencia de entre 0.5 % y 5 %, y con 0.2 % y 1.2 % de álcalis ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ) [36] [7]. La combinación de los minerales mencionados conforma el cemento más utilizado en el mundo con características definidas en normativas y con porcentajes de cada mineral que tienden a variar entre los rangos indicados dependiendo del lugar de donde provengan los materiales y la fábrica de producción del conglomerante [39]. Este tipo de cemento surge debido a la necesidad de conseguir un cemento que pueda tener cierta capacidad para resistir a los sulfatos y poseer un bajo calor de hidratación [40].

#### 1.1.3.2.3 Proceso de fabricación del cemento portland

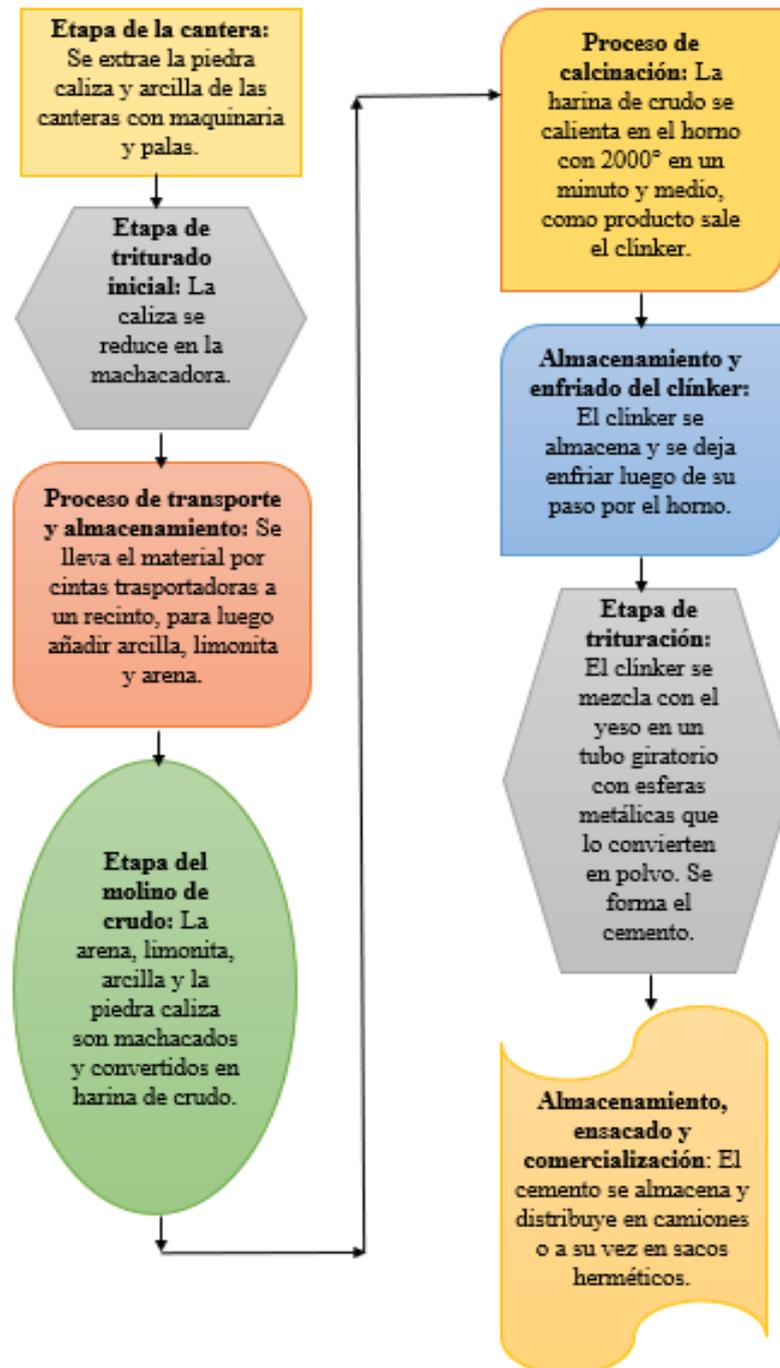
El proceso de fabricación del cemento portland consta de varios procesos y pasos [41], entre los que se detallan a continuación:

- **Explotación y extracción de materia prima:** El procedimiento que se detalla empieza en la cantera, donde el material principal en la elaboración de cemento que es la piedra caliza es extraído de la mina conjuntamente con materiales como arcillas, pizarras y margas. La caliza con característico color marrón necesita ser transportado a la fábrica, y para ese proceso es de vital importancia la maquinaria [42].

- **Trituración de la materia prima:** Los camiones cargados de material, llegan a la fábrica donde lanzan las piedras a una machacadora que posee un cilindro giratorio donde las rocas se chocan y se fragmentan a cierta velocidad, esto debido a que se necesita reducir el tamaño de las piedras calizas [43].
- **Prehomogenización:** En este proceso el material es transportado y almacenado para después proseguir con la dosificación, en este caso se seleccionan las cantidades de piedra caliza triturada y la arcilla en una proporción adecuada. Debido a que la caliza no siempre es igual en sus características, la solución es añadir a la mezcla arena y limonita, la primera para que aporte sílice, y la segunda para que aporte hierro [44].
- **Molienda de crudo:** La arena, limonita, arcilla y la piedra caliza con la dosificación adecuada son machacados en un molino de 4 rodillos y de esa forma son convertidos en un polvillo denominado harina de crudo [45].
- **Proceso de calcinación y Clinkerización:** El polvillo formado con el proceso anterior se debe almacenar, para que después se lo mande por distintos tubos y finalmente llegue al horno. Dentro del mismo a una temperatura que alcanza los 1500 grados, la harina de crudo pasa de ser polvillo a tener un aspecto rojizo incandescente, que al salir y enfriarse forma piedritas artificiales conocidas como clínker [46].
- **Almacenamiento y enfriado del clínker:** El producto formado por la clinkerización debe ser llevado a un proceso de enfriamiento rápido con aire que proveniente del exterior y luego ser almacenado en unos silos preparados para recibir el clínker enfriado [18].
- **Molienda de cemento:** Al ser el clínker un componente primordial en la formación de cemento necesita combinarse con yeso y demás adiciones para regular el fraguado y otorgarle las características al conglomerante hidráulico, por lo que para tal acción es necesario un tubo giratorio donde en su interior contenga esferas metálicas grandes y pequeñas, para que de esa forma el material sea convertido en polvo y que a su vez esté refinado [7].

- **Almacenamiento, ensacado y comercialización:** El material producto de todo ese proceso, que es el cemento propiamente dicho, debe ser almacenado en silos a granel, y distribuido ya sea directamente a los camiones o ser llevado al ensacado hermético del material [47].

**Ilustración 3.** Esquema del proceso de fabricación del cemento portland



Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

#### 1.1.3.2.4 Clasificación del cemento portland

Basándose en las normativas NTE INEN 152 [48], NTE INEN 490 [49] y NTE INEN 2380 [50], existe una clasificación normada con respecto a los cementos portland, y esta clasificación es la siguiente:

Clasificación en base a la primera norma establecida:

**Tabla 4.** Clasificación del cemento según la normativa NTE INEN 152

Tipo I	Tipo de cemento destinado para las obras civiles en general, aunque libera mayor cantidad de calor de hidratación [51].
Tipo II	Cemento adecuado para obras de construcción que requieran una moderada resistencia a los sulfatos [48].
Tipo III	Clase de cemento con alta resistencia inicial y que se lo emplea en obras civiles que requieren de un desencofrado rápido para que resistan cargas cuanto antes [29].
Tipo IV	Conglomerante hidráulico empleado en estructuras que necesiten un bajo calor de hidratación y un lento fraguado, usado en obras con gran cantidad de volumen de hormigón [18].
Tipo V	Ejemplar de cemento portland con la ventaja de poseer una alta resistencia a las sustancias perjudiciales de sulfatos [52].

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

Clasificación en base a la norma NTE INEN 490 [49] con criterios para los cementos hidráulicos compuestos en donde se sustituyen componentes minerales del clínker con otras partículas, en este caso son los siguientes:

**Tabla 5.** Clasificación del cemento en base a la norma NTE INEN 490

Tipo IS	Tipo de cemento compuesto binario nacido de la unión entre el cemento portland tradicional y escorias granuladas de alto horno [53].
Tipo IP	Conglomerante hidráulico conformado por la mezcla uniforme de cemento portland y puzolana. Este tipo de cemento posee una moderada resistencia a los sulfatos, mejora la impermeabilidad del concreto, tiene menor calor de hidratación y le otorga al hormigón capacidad de trabajabilidad [54].
Tipo IT	Clase de cemento compuesto por la combinación entre cemento portland y dos puzolanas distintas o a su vez la unión de la escoria de altos hornos y el cemento portland puzolánico [49].

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

Clasificación tomando en cuenta la normativa NTE INEN 2380 [50] con el criterio de desempeño para el conglomerante hidráulico, en este caso el cemento, por lo que se conforma de la siguiente forma:

**Tabla 6.** Clasificación del cemento basado en la norma NTE INEN 2380

Tipo GU	Similar al cemento tipo I es utilizado para la construcción civil en general [55].
Tipo HE	Al igual que el tipo III de cemento con una alta resistencia a edades tempranas [56].

Tipo MS	Clase de cemento similar al tipo II con la ventaja de poseer una moderada resistencia a los sulfatos, además de ser útil en la construcción de drenajes [57].
Tipo HS	Conglomerante hidráulico idéntico al cemento portland tipo V con la función de otorgarle al concreto una alta resistencia a los sulfatos, usados principalmente en zonas donde los sulfatos abundan [26].
Tipo MH	Cemento con moderado calor de hidratación [58].
Tipo LH	Cemento con bajo calor de hidratación y que tiene cierta similitud al cemento portland tipo IV, por lo que es utilizado para estructuras que requieran un gran volumen de concreto [59].

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

#### **1.1.3.2.5 Densidad real del cemento**

La densidad real del cemento es una propiedad del material que tiene que ver con la relación entre la masa del conglomerante hidráulico y el volumen de la gasolina que es desplazada [60], y el valor que se obtiene mediante un proceso de ensayo ya sea con picnómetro o frasco de Le Chatelier tiene de base a la normativa NTE INEN 156 [61].

#### **1.1.3.3 Hormigón**

Se le conoce como hormigón a la mezcla de varios componentes entre los cuales se encuentran: el cemento como conglomerante hidráulico, el agua, y las partículas de áridos como la arena y el ripio [27]; al juntarse homogéneamente cada partícula de árido con el aglutinante, que se forma al unir el cemento y agua, se obtiene de producto un tipo de material rocoso creado de forma artificial por el ser humano para su utilización en la construcción de varias obras civiles [62]. A la mezcla de concreto,

nombre con el que también se le conoce al hormigón, también se le puede agregar distintos tipos de aditivos e incluso puede existir intervención de fibras, todo esto con el objetivo de mejorar el comportamiento del material en diversas situaciones [7].

#### **Ilustración 4.** Hormigón en estado fresco



Fuente: [63]

#### **1.1.3.3.1 Propiedades del hormigón fresco**

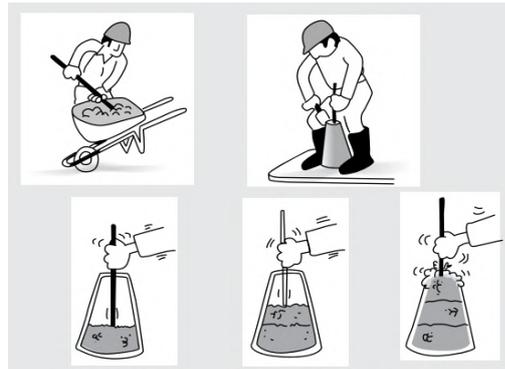
Al momento de hablar del concreto en estado fresco, el material posee características plásticas y trabajables entre las cuales se encuentran las siguientes:

**Trabajabilidad:** Se puede definir a la propiedad de trabajabilidad como la capacidad que tiene el hormigón en estado fresco de ser fácilmente manipulable, es decir, en otras palabras, la docilidad es la capacidad de mezclar, transportar, colocar y compactar al concreto cuando se encuentra en estado fresco [64]. A su vez, la propiedad depende de la cantidad de áridos finos, de la cantidad de cemento e incluso del uso aditivos, pues a mayor tales componentes se obtiene una mayor capacidad de trabajabilidad [65].

**Consistencia:** La definición de consistencia tiene relación con la habilidad que dispone el hormigón recién amasado de oponerse de cierta forma a la deformación y que puede adaptarse a una forma en específico teniendo correlación con la propiedad de trabajabilidad [66]. Esta propiedad depende de la cantidad de agua (relación agua/cemento), tamaño y textura de los áridos y del método de compactación que haya

sido utilizado [40]. La consistencia se mide con el ensayo de asentamiento conocido como “Cono de Abrams” establecido en la normativa NTE INEN 1578 y que mide la propiedad en base al revenimiento que se obtiene en centímetros luego de seguir tal proceso [67].

**Ilustración 5.** Ensayo de cono de Abrams



Fuente: [68]

**Tabla 7.** Clasificación de consistencias según los asentamientos medidos con el ensayo de cono de Abrams

CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO (mm)	EJEMPLO DE TIPO DE CONSTRUCCIÓN	SISTEMA DE COLOCACIÓN	SISTEMA DE COMPACTACIÓN
Muy seca		Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantallas de cimentación	Con vibradores de formaleta; hormigón de proyección neumática (lanzado)	Secciones sujetas a vibración extrema, puede requerirse presión
Seca	20 a 35	Pavimentos	Pavimentadoras con terminadora vibratoria	Secciones sujetas a vibración intensa
Semi-seca	35 a 50	Pavimentos, fundaciones en hormigón simple o con refuerzo simple	Con máquinas operadas manualmente	Vibración mecánica
Media	50 a 100	Pavimentos, losas, muros, vigas y secciones medianamente reforzadas	Colocación manual	Vibración mecánica
Húmeda	100 a 150	Elementos estructurales esbeltos y secciones bastante reforzadas	Bombeo	Vibración mecánica
Muy húmeda	150 o más	Elementos muy esbeltos, pilotes fundidos «in situ»	Bombeo, tubo-embudo, tremie	Normalmente no adecuados para vibrarse

Fuente: [69]

**Homogeneidad:** La homogeneidad del concreto en estado fresco se trata de una propiedad en la cual cada componente del hormigón recién amasado debe tener la dosificación adecuada en la mezcla y debe estar totalmente combinado con los demás materiales, para que de esa forma en toda la uniformidad de la masa de concreto cada componente del hormigón (arena, ripio, cemento y agua) tenga una buena distribución en el material resultante [70].

**Densidad:** La propiedad de densidad está relacionada a la cantidad de masa de hormigón recién amasado que se encuentra en una unidad de volumen determinada [27]. Esta propiedad indica la uniformidad de la mezcla y puede determinar cambios en los componentes del hormigón, a su vez, la densidad del concreto en estado fresco se puede hallar en base a la normativa NTE INEN 1579, en tal norma el proceso se basa en colocar el hormigón recién amasado en un recipiente para después registrar datos de pesos y dimensiones del molde, con tal toma de datos se puede determinar el valor de densidad en unidades de  $\text{Kg/m}^3$  [71]. Según la norma ACI 318-19 la densidad de un hormigón de peso normal debe ser mayor a  $2160 \text{ Kg/m}^3$  para ser adecuada [72].

#### 1.1.3.3.2 Propiedades del hormigón endurecido

El hormigón luego de pasar por un proceso de fraguado pasa de poseer características plásticas a un estado sólido, a ese estado sólido se le conoce como concreto endurecido. Las propiedades del concreto endurecido son las siguientes:

**Densidad:** Esta propiedad está presente tanto en las propiedades del hormigón en estado fresco como en las propiedades del hormigón endurecido, y su concepto se basa en la relación entre la masa y el volumen que ocupa el material. De forma similar a lo mencionado en la definición de densidad del hormigón recién amasado, esta densidad del concreto endurecido no debe ser menor a  $2160 \text{ Kg/m}^3$  [11].

**Compacidad:** La propiedad de compacidad tiene que ver con la capacidad que posee el hormigón en estado endurecido a tener la mayor cantidad de densidad que puede ser posible dependiendo de la calidad de los componentes empleados en la elaboración del concreto, y a su vez mayor compacidad en el hormigón puede significar que el hormigón tenga cierta protección contra sustancias perjudiciales [73].

**Permeabilidad:** Esta propiedad se define como el nivel de facilidad que dispone el hormigón para ser objeto de la infiltración de fluidos externos como agua o gases. La permeabilidad del concreto tiene como factor de suma importancia a la relación entre el agua y el cemento, ya que a medida que tal relación aumente también incrementará esta propiedad [74].

**Durabilidad:** La durabilidad es la propiedad del concreto en estado endurecido que está relacionada con la capacidad que tiene el hormigón de resistir a factores externos como impactos, vibraciones, microorganismos, fuego, contaminación atmosférica, sobrecargas, ciclos de hielo y deshielo, terrenos que presentan cierta agresividad, filtración de aguas y demás. Esta capacidad de resistencia está relacionada con el paso del tiempo [75].

**Resistencia a compresión:** Esta una propiedad está relacionada a la resistencia mecánica que dispone el hormigón endurecido cuando está sometido a esfuerzos de compresión en una máquina especializada para ensayar muestras de concreto. Esta resistencia depende de un factor determinante, en este caso es la relación entre el agua y el cemento, pues entre más agua se aumente a la mezcla de hormigón menor será el valor de resistencia obtenida, y por ende a mayor cantidad de cemento se incrementará la resistencia del hormigón [76].

El ensayo que determina el valor de resistencia a compresión está señalado en las normativas ASTM C 39 [77] y la norma ecuatoriana NTE INEN 1573, el proceso básicamente determina que cuando se requiere ensayar muestras cilíndricas de concreto a determinado número de días se puede esperar cierto determinado tiempo, y a su vez se debe tener la máquina de ensayo debe estar correctamente calibrada para el ensayo respectivo [78]. Cabe mencionar que la resistencia a la cual se busca llegar o denominada resistencia de diseño se logra obtener a los 28 días de edad, pero si se busca experimentar se puede ensayar a los 7, 14, 21 y 28 días de edad del concreto, cada edad dispone de límites máximos y mínimos establecidos que se deben cumplir [79].

Las resistencias que se obtienen en la máquina de esfuerzos a compresión son de dos tipos:

- **Resistencia característica:** Este tipo de resistencia producto del ensayo a compresión es el valor característico de cada una de las probetas de concreto que se ensayan, a menudo al ensayar varias muestras del material se pueden obtener resistencias mayores o menores comparadas entre sí [80].
- **Resistencia media:** Equivale al promedio de valores de resistencia entre un grupo de cilindros de hormigón sometidos a fuerzas compresivas en la máquina de ensayo [81].

#### 1.1.3.3 Curado del hormigón

Al curado del hormigón se lo denomina como el proceso que pretende que el concreto no pierda humedad por un periodo de tiempo determinado por la edad de ensayo de la muestra de hormigón, de esa forma se evita a toda costa que el material derroche el agua con la cual fue amasado e incluso que reponga pérdidas del líquido para que el material pueda alcanzar la resistencia deseada [82]. Uno de los procesos más comunes para el curado del hormigón es mantener al concreto saturado de agua, ya sea por dispersión del líquido cuando se trata de una obra civil o en el caso de muestras de ensayo al colocarlas dentro de una cámara de curado repleta de agua con regulación de temperatura y humedad [83].

#### 1.1.3.4 Agua en el hormigón

Uno de los componentes más importantes dentro de la mezcla de hormigón es sin duda alguna el agua, tal es su importancia que está relacionado a la resistencia que pueda alcanzar el concreto dentro de los tiempos establecidos [70].

Existen dos tipos de agua dentro del proceso de elaboración del hormigón, y estos son: el agua de amasado que se utiliza al momento de la mezcla de concreto formando parte de los componentes principales de la misma, y el otro tipo es el agua de curado que es usado para el proceso de endurecimiento del concreto y que hidrata al material para alcanzar la resistencia a compresión esperada [7].

#### **1.1.3.3.5 Cloruros en el concreto**

Los cloruros en el concreto (agua salada) provoca un proceso corrosivo en las armaduras y de desgaste en el hormigón, y ya que varias obras de infraestructura son llevadas a cabo en sitios donde el agua salada abunda se debe de cierta forma abordar ciertas consecuencias o desventajas que se puede ocasionar al exponer el hormigón con este agente corrosivo en donde predomina el cloruro [84]. Cabe recordar que el agua salada, que comúnmente se localiza en los mares del planeta, posee una concentración de sales mayor a 35 gramos por cada litro de agua aproximadamente [85] [86].

La sal en el concreto provoca la atracción de mayor cantidad de agua, lo que significa que el material estará saturado y perderá resistencia conjuntamente con una afectación a la durabilidad y calidad del material [87]. Además el ataque por cloruros producidos por el agua salada depende del tiempo de exposición al cual el concreto se ha expuesto al agente corrosivo, principalmente causa estragos en concretos armados, ya que corroe el acero de refuerzo y deja indefensa a la estructura e incluso puede provocar con el tiempo un proceso de carbonatación en el hormigón [88].

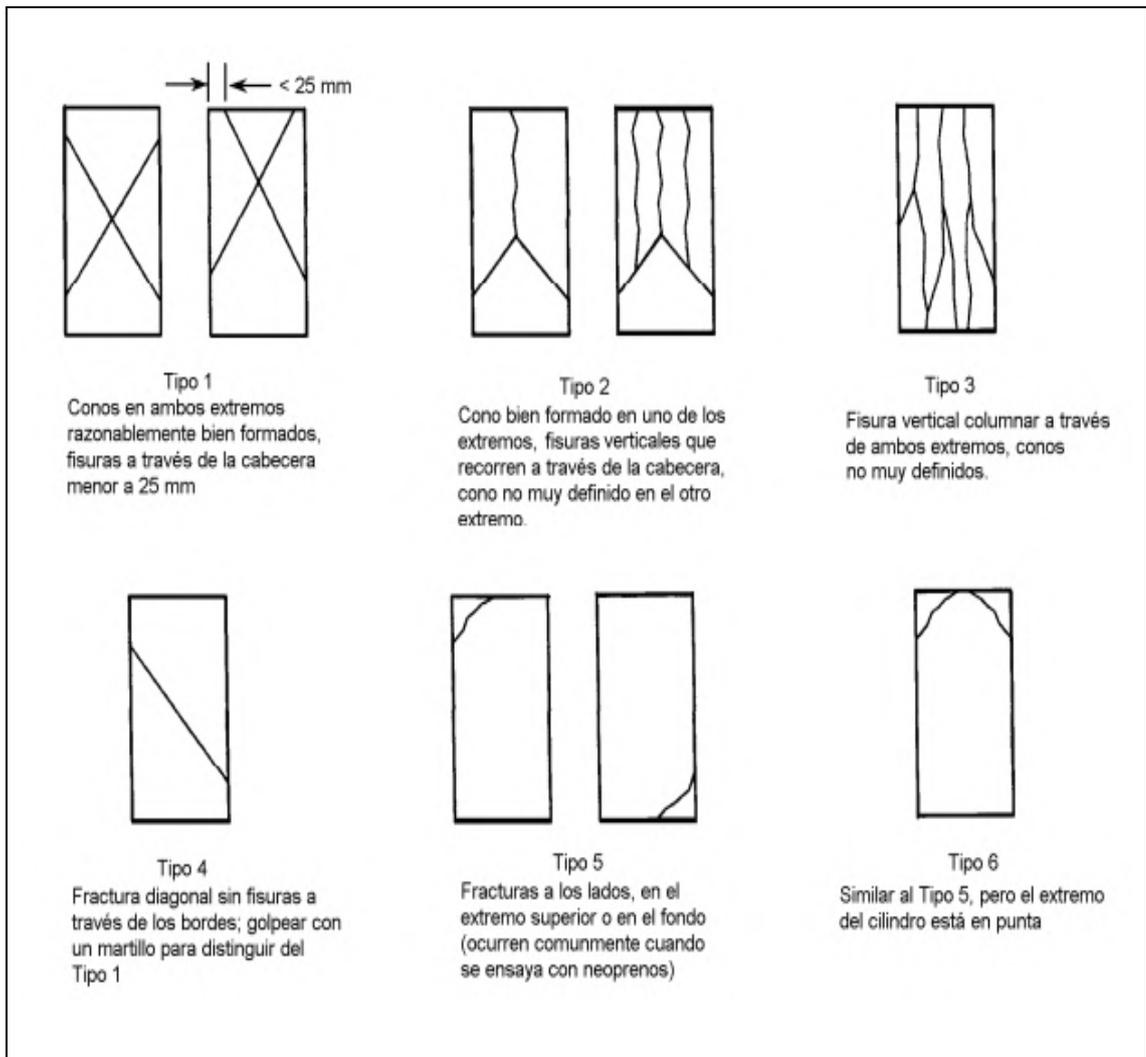
#### **1.1.3.3.6 Método de dosificación de Densidad Óptima**

Para la fabricación de los cilindros de hormigón el método de dosificación del trabajo experimental se basa en el método de densidad óptima desarrollado por la Universidad Central del Ecuador, cada probeta tendrá una proporción de materiales (arena, ripio, cemento y agua) cuya base de fundamento es que al combinarlos tal mezcla de concreto disponga de la cantidad mínima de pasta para la obtención de un hormigón de calidad considerable y con un menor porcentaje de vacíos en la misma, tal resultado se logrará usando ensayos normados que permitan determinar la densidad óptima de los agregados que se van a utilizar en el hormigón [79].

### 1.1.3.3.7 Esquemas de falla en el concreto

Los esquemas de falla que pueden presentar los cilindros de hormigón al ser ensayados a compresión pueden ser de los siguientes tipos:

**Tabla 8.** Esquema de fallas del concreto según la normativa NTE INEN 1573



Fuente: [78] Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

#### **1.1.3.4 Fibras**

A las fibras se les conoce comúnmente como el conjunto de pequeños filamentos hilados de gran longitud en contraste con la pequeña sección transversal que presenta, a su vez, estas fibras permiten reforzar al concreto y mejorar las propiedades del mismo, situación favorable para obtener un material de hormigón con mejor calidad y que sea de utilidad para las solicitaciones actuales [89].

Entre los beneficios que otorgan las fibras al hormigón se encuentran los relacionados con la reducción de la fisuración, aumento de la resistencia mecánica del concreto e incluso se relacionan con cierta resistencia a agentes perjudiciales [79].

##### **1.1.3.4.1 Clasificación de las fibras**

Las fibras se clasifican según el origen del mismo, en este caso, siguiendo este criterio de subdivisión entre fibras [90], la clasificación es la siguiente:

- Fibras naturales.
- Fibras artificiales.
- Fibras sintéticas.

##### **1.1.3.4.2 Fibras naturales**

Estos tipos de fibras se obtienen de la naturaleza, por eso su nombre, además dentro del origen del que derivan estas fibras se encuentran: origen animal, origen vegetal y origen mineral. La fibra natural presenta ciertas ventajas al momento de elegir su uso para reforzar al hormigón, entre las ventajas se puede encontrar que es un refuerzo de bajo costo y muy accesible, aunque cabe recalcar que cierto tipo de fibras naturales de origen mineral tiene cierto costo mayor a las fibras de origen vegetal o animal [11].

Entre las fibras de origen natural más comunes son las siguientes: fibra de bagazo de caña de azúcar, fibra de algodón, fibra de yute, fibra de bambú, fibra de coco, fibra de cáñamo, fibra de lino, fibra de sisal, fibra de acero, fibra de vidrio y de lana [89].

#### **1.1.3.4.3 Fibras artificiales**

Esta subdivisión de las fibras de refuerzo al hormigón tiene su relación con las fibras naturales, con la diferenciación de que este tipo de fibra tienen una transformación por procesos químicos para mejorar las características de estas fibras. Entre las fibras más comunes de este subgrupo se encuentran: la fibra de látex, la fibra de caucho, la fibra de rayón, fibra de acetato y fibra de seda artificial [91].

#### **1.1.3.4.4 Fibras sintéticas**

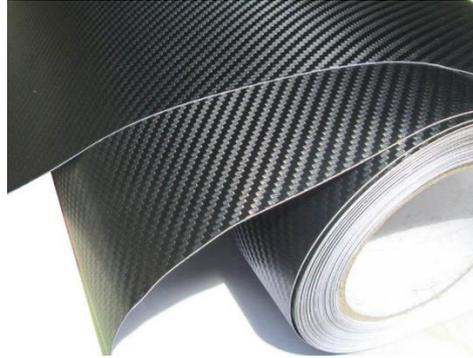
Como lo indica su propio nombre, este tipo de fibra es de origen sintético y se obtiene mediante un conjunto de procesos en los que interviene las resinas que son producto del petróleo, estos procedimientos son denominados como “polimerización”. Entre las fibras más comunes que se conocen de este subgrupo se encuentran las siguientes: fibra de aramida, fibra de nylon, fibra de polietileno, fibra de acrílico, fibra de polipropileno, y finalmente la que tiene relación con el trabajo experimental que es la “**fibra de carbono**” [90].

#### **1.1.3.5 Fibra de Carbono**

Al hablar de la fibra de carbono se hace referencia a una fibra sintética compuesta por filamentos hilados de material de poliacrilonitrilo (PAN) con diámetros que rondan entre un rango de entre 5 y 10 micras; estos filamentos están compuestos por la combinación de átomos de carbono que al juntarse en cristales de grafito se unen de forma desordenada y densa, y de esa forma se alinean a su manera en dirección paralela

al eje longitudinal de la fibra [92]. Este material posee un costo alto en comparación con otras fibras, como es el caso de las fibras naturales [11].

#### **Ilustración 6.** Fibra de carbono



Fuente: [93]

#### **1.1.3.5.1 Componentes de la fibra de carbono**

El componente que conforma a la fibra de carbono es el poliacrilonitrilo conocido comúnmente como PAN, este material deriva del petróleo y al hilarse cada filamento de material da forma al tejido de fibra de carbono. Cabe mencionar que el material PAN al derivarse del petróleo contendrá por simple deducción átomos y uniones de carbono de la cual se desprende el nombre con el que se conoce a la fibra [8].

#### **1.1.3.5.2 Criterios de producción**

El proceso para fabricar la fibra sintética de carbono es el que prosigue a continuación:

Fase 1 (Spinning y Stabilizing): Se procede a estirar los filamentos de PAN con la ayuda de un horno especial con temperaturas que rondan los 200 °C y 300 °C, de esa forma se alinean las partículas del material y se alteran químicamente para disponer de una unión de átomos más estable durante 30 y 120 minutos en un proceso de estabilización y oxidación del material [94].

Fase 2 (Carbonizing): La carbonatación de los filamentos de PAN busca formar los cristales de carbono alineados y unidos tomando como base a los átomos de carbono, calentando tales átomos a temperaturas entre 1000 °C y 3000 °C durante varios minutos evitando el ingreso de oxígeno al horno, para que después del proceso en el horno el material comience a perder átomos que no son de carbono y se formen esos cristales deseados [92].

Fase 3: El resultado obtenido serán los filamentos de carbono con una pureza mayor al 95 %, tales filamentos se los conoce como “mechas de carbono” y para finalizar el proceso miles de filamentos se comienzan a trenzar y de ese trenzado se obtienen tejidos hilados de fibra de carbono [8].

#### **1.1.3.5.3 Resina**

La resina corresponde al segundo componente de suma importancia con respecto a la fibra de carbono, ya que esta permite adherir el tejido de fibra con materiales relacionados a la construcción o a otra disciplina en donde se utiliza la fibra, este componente tiende a endurecerse cuando se junta a un agente endurecedor. Una de las tantas disciplinas relacionada a la industria de la fibra de carbono es la automovilística, la aeronáutica y por supuesto la construcción [95].

#### **1.1.3.5.4 Ventajas de la fibra de carbono**

Entre las ventajas que puede presentar el material de fibra de carbono están los siguientes: mayor resistencia a los impactos, aumenta el confinamiento de elementos constructivos de concreto y puede ser usado como refuerzo en el hormigón en búsqueda de una mayor resistencia [13].

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 General:**

Comparar la resistencia a compresión entre el hormigón simple y el hormigón reforzado con fibras de carbono.

### **1.2.2 Específicos:**

- Elaborar las pruebas de ensayo a compresión mediante procedimientos experimentales aplicados a un grupo de probetas fabricadas con hormigón simple.
- Realizar las pruebas de resistencia a compresión basados en procedimientos experimentales aplicados a un grupo de probetas de hormigón reforzado con fibras de carbono.
- Analizar estadísticamente los resultados experimentales de resistencia a compresión entre probetas de hormigón simple y hormigón reforzado con fibras de carbono para describir los beneficios de utilización de fibras de carbono en el hormigón.

## CAPÍTULO II

### METODOLOGÍA

#### 2.1 Materiales y Equipos

##### 2.1.1 Materiales

Tabla 9. Materiales

Nombre del Material	Detalle del Material
<p data-bbox="422 969 678 1003"><b>Cemento Portland</b></p> 	<p data-bbox="810 969 1409 1108">Permite alcanzar las resistencias a la compresión requeridas en todas las edades e incluso puede alcanzar hasta un 20 % más de resistencia a los 90 días.</p> <p data-bbox="810 1142 1409 1249">Desprende menor calor de hidratación permitiendo manejar grandes cantidades de hormigón.</p> <p data-bbox="810 1283 1409 1384">Cuenta con certificado de conformidad con sello de calidad INEN y posee licencia ambiental [54].</p>
<p data-bbox="443 1478 657 1512"><b>Agregado Fino</b></p> 	<p data-bbox="810 1478 1409 1512">Origen: Cantera Volcán Baños de Agua Santa</p> <p data-bbox="810 1545 1409 1944">De acuerdo con la normativa NTE INEN 872 la característica general del agregado fino es que está constituido ya sea de arena natural (extraída de canteras aluviales), de arena elaborada artificialmente por el ser humano o en su caso de una combinación entre los dos tipos de arena; a su vez esta arena debe estar libre de sustancias perjudiciales como es el caso de arcillas, limos, carbón, lignitos, impurezas orgánicas o cualquier sustancia que reaccione negativamente con el cemento [20].</p>

<p style="text-align: center;"><b>Agregado Grueso</b></p> 	<p>Origen: Cantera Volcán Baños de Agua Santa</p> <p>Al momento de mencionar al agregado grueso se puede decir que es un árido que se extrae de canteras ubicadas en localidades cercanas y que siguen un proceso de trituración hasta lograr los tamaños establecidos de agregados y sus respectivas propiedades [31], en este caso también se le puede denominar con el nombre de ripio y a su vez entre sus funcionalidades se encuentra la de dar cierta capacidad de resistencia mecánica al concreto [19].</p>
<p style="text-align: center;"><b>Agua Potable</b></p> 	<p>No tiene olor salvo cuando contiene sustancias disueltas. Es insípido, lo que significa que no posee un sabor determinado. Y es incoloro, es decir, no tiene color y, en su estado puro, es completamente transparente [7].</p>
<p style="text-align: center;"><b>Fibra de Carbono</b></p> 	<p>Fibra de carbono comercial, tejido sarga (Twill) con orientación de fibras bidireccional o biaxial entrelazado a 90° entre sí (hebras horizontales y otras verticales) [96].</p> <p>Densidad de la fibra: 1.81 g/cm<sup>3</sup>.</p> <p>Temperatura de aplicación recomendada: 5 ° – 40 °C.</p> <p>Resistencia a químicos: Resistente a los alcalinos suaves, ácidos suaves, y la sal.</p> <p>Resistente al frío y al calor.</p> <p>Adaptable a cualquier superficie plana y lisa (no porosa) [97].</p>

<p><b>Resina (Adhesivo de contacto)</b></p> 	<p>Adhesivo de contacto de buen desempeño fabricado con cauchos de cloropreno y resinas fenólicas de excelente calidad.</p> <p>Adecuada resistencia al calor y al agua.</p> <p>Resistente a los agentes químicos corrientes y atmosféricos.</p> <p>Densidad: <math>3.2 \pm 0.1</math> Kg/galón.</p> <p>Viscosidad Brookfield (25 °C): <math>1550 \pm 250</math> cP.</p> <p>Fácil aplicación y alto rendimiento [98].</p>
---	--

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

### 2.1.2 Equipos

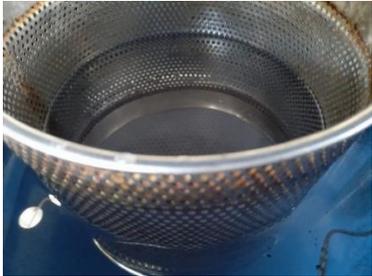
**Tabla 10.** Equipos

<b>Nombre del Equipo</b>	<b>Detalle del Equipo</b>
<p><b>Tamices cuadrados</b></p> 	<p>Aberturas: 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", #4.</p> <p>Se utilizan para una amplia gama de pruebas en Materiales de Construcción incluyendo Suelos y Agregados para determinar el control de calidad de los agregados.</p>

<p style="text-align: center;"><b>Tamices redondos</b></p> 	<p>Marca: Humboldt.</p> <p>Aberturas: 3/8", #4, #8, #16, #30, #50, #100, #200.</p> <p>Están disponibles en marco de bronce con malla de acero inoxidable.</p> <p>Tienen un amplio uso en todo tipo de aplicaciones de tamizado, desde muestreo y clasificación de suelos, agregados y otros materiales en polvo y granulares según el estándar ASTM.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Tamizadora</b></p> 	<p>Marca: Controls.</p> <p>Modelo: 15-D0407 / BZ.</p> <p>Voltaje: 110 V – 220 V.</p> <p>Frecuencia: 50 – 60 Hz.</p> <p>Potencia: 400 W.</p> <p>Temporizador: 0 – 99 minutos.</p> <p>Se encarga de separar mediante vibración por medio de la serie de tamices partículas de distintos tamaños.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Balanza electrónica</b></p> 	<p>Marca: Sartorius.</p> <p>Modelo: AZ4101.</p> <p>Voltaje: 115 V.</p> <p>Dimensiones: 200 x 270 x 299 mm.</p> <p>Frecuencia: 48 – 60 Hz.</p> <p>Tiene una capacidad máxima de 1500 gramos con una sensibilidad de 0.01 gramos.</p> <p>Permite medir la masa de diferentes sustancias y objetos.</p>

<p align="center"><b>Balanza Electrónica 0.1g de precisión</b></p> 	<p>Marca: CHQ-DJ.</p> <p>Modelo: DJ6001A.</p> <p>Tiene una capacidad máxima de 6000 gramos.</p> <p>La temperatura máxima de funcionamiento de 40 °C.</p> <p>Sensibilidad de 0.1 gramos.</p> <p>Permite medir la masa de diferentes sustancias y objetos.</p>
<p align="center"><b>Termómetro</b></p> 	<p>Termómetro analógico con una graduación de 0.5 °C.</p> <p>Marca: SHX.</p> <p>Modelo: SHX-WNG-01.</p> <p>Material: Vidrio, mercurio.</p> <p>El equipo es utilizado para medir la temperatura con un alto nivel de exactitud. Puede ser parcial o totalmente inmerso en la sustancia que se está midiendo.</p>
<p align="center"><b>Picnómetro</b></p> 	<p>Marca: LMS.</p> <p>Material: Vidrio Boro 33.</p> <p>Volumen nominal: 500 ml.</p> <p>Tapón: NS 19 / 26.</p> <p>Precisión: 0.25 ml.</p> <p>Permite conocer la densidad o peso específico de cualquier fluido ya sea líquido o sólido mediante gravimetría a una determinada temperatura.</p>

<p style="text-align: center;"><b>Balanza electrónica 1 g de precisión</b></p> 	<p>Marca: KERN.</p> <p>Modelo: FKB 3QK1A.</p> <p>Tiempo de funcionamiento: 8 – 12 horas.</p> <p>Tiene una capacidad máxima de 30 Kg.</p> <p>La temperatura máxima de uso es de 35 °C.</p> <p>Sensibilidad de 1 gramo.</p> <p>Permite medir la masa de diferentes sustancias y objetos.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Balanza electrónica de plataforma</b></p> 	<p>Marca: MATEST.</p> <p>Modelo: V075-21 TCS-150 Kg.</p> <p>Capacidad: 150 Kg.</p> <p>Sensibilidad: 5 g.</p> <p>Fuente de alimentación: Baterías recargables.</p> <p>Dimensiones de la bandeja: 450 x 600 mm.</p> <p>Permite medir la masa de diferentes sustancias y objetos.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Horno eléctrico</b></p> 	<p>Marca: Humboldt.</p> <p>Potencia: 1920 W.</p> <p>Dimensiones: 648 x 610 x 508 mm.</p> <p>Voltaje: 110 V.</p> <p>Control de temperatura E-Series digital regulable hasta 450°F (232°C).</p> <p>Tiene una capacidad de 198 Litros e incluye dos parrillas.</p> <p>Usado para secar muestras de suelos y agregados.</p>

<p style="text-align: center;"><b>Canastilla metálica</b></p> 	<p>Normas: ASTM C127 / AASHTO T85.</p> <p>Dimensiones: Diámetro de 203 mm x 203 mm de altura.</p> <p>Fabricación: Malla de alambre N°8 reforzado con asa tipo aro.</p> <p>Utilizado para pruebas de gravedad específica, fabricado en acero inoxidable.</p> <p>Se utiliza como recipiente para los agregados que se pesan en agua.</p>
<p style="text-align: center;">Cono de Absorción de Arena y Pisón</p> 	<p>Normas: ASTM C128 / AASHTO T84.</p> <p>Molde fabricado de bronce de precisión.</p> <p>Pisón de acero, chapado para la resistencia a la oxidación y larga duración.</p> <p>Molde de bronce con diámetro superior de 40 mm, diámetro inferior de 90 mm y una altura de 75 mm.</p> <p>Pisón de acero de diámetro de 25.4 mm y una altura de 168 mm.</p> <p>Se utilizan para revisar las condiciones de humedad de la superficie de la arena mediante la cohesión de partículas.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Pistola de aire caliente</b></p> 	<p>Marca: Coofix.</p> <p>Modelo: CF-HG004.</p> <p>Voltaje: 110 V.</p> <p>Frecuencia: 60 Hz.</p> <p>Potencia: 1500 W.</p> <p>Caudal volumétrico: 280 – 480 L/min.</p> <p>Temperatura: 300 ° – 500 °C.</p> <p>Se utilizan para secar cantidades pequeñas de partículas de agregado y muestras de suelo.</p>

<p style="text-align: center;"><b>Molde de peso unitario</b></p> 	<p>Normas: ASTM C29 / ASTM C 138 / ASTM C 192.</p> <p>Es utilizado para determinar la densidad y el porcentaje de vacíos en agregados.</p> <p>Está fabricada de acero enchapado y fuerte cumpliendo con el estándar relacionado.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Probeta</b></p> 	<p>Capacidad de Volumen: 1000 ml.</p> <p>Material: Polipropileno casi transparente.</p> <p>Graduación: 100 ml.</p> <p>Subdivisión: 10 ml.</p> <p>Medidas: Diámetro exterior de 66 mm y una altura de 439 mm.</p> <p>Graduación en alto relieve con base hexagonal.</p> <p>Sirve para medir el volumen de líquidos en un laboratorio.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Embudo</b></p> 	<p>Marca: PICA.</p> <p>Medidas: Diámetro de 12 cm y altura de 11 cm.</p> <p>Color: Azul.</p> <p>Material: Polipropileno libre de BPA.</p> <p>Sirven para pasar líquidos, sólidos pequeños o productos químicos de un recipiente a otro.</p>

<p style="text-align: center;"><b>Cono de Abrams</b></p>  <p>The image shows a blue metal Abrams cone with a handle, resting on a square base. Next to it are several tools: a green brush, a metal rod, a wooden rod, and a metal scoop.</p>	<p>Normativa: ASTM C 143 / ASTM C 192 / AASHTO T23 / AASHTO T 119 / AASHTO T 126.</p> <p>Fabricación: Conos de metal sin juntas de acero de alto calibre de 1.1 mm de espesor, chapados para la resistencia a la oxidación y a la corrosión.</p> <p>Medidas: Diámetro superior de 10 cm, diámetro inferior de 20 cm y 30 cm de altura.</p> <p>Son utilizados en las pruebas de asentamiento para el concreto fresco.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Varillas compactadoras</b></p>  <p>The image shows two compaction rods. One is a long, thin metal rod with a rounded end. The other is a shorter, thicker metal rod with a rounded end.</p>	<p>Normativa: ASTM C31 / ASTM C124 / ASTM C138 / ASTM C143 / ASTM C157 / ASTM C192 / ASTM C232 / ASTM C234.</p> <p>Se utilizan con el cono de asentamiento, moldes y otros instrumentos para eliminar el aire atrapado en el concreto fresco.</p> <p>La varilla compactadora de diámetro de 16 mm con punta redondeada y altura de 610 mm es usada con el cono de Abrams.</p> <p>La varilla compactadora de 10 mm de diámetro con punta redondeada y una altura de 305 mm es utilizada para los moldes de diámetro 100 mm con una altura de 200 mm.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Cámara de curado</b></p>  <p>The image shows a rectangular curing chamber with a lid. Inside, several cylindrical concrete specimens are arranged on a tray. The chamber appears to be made of metal or a heavy-duty material.</p>	<p>Normas: ASTM C 192.</p> <p>Es usado para el curado final de los especímenes cilíndricos de hormigón.</p> <p>Este está programado para mantener una temperatura de <math>22 \pm 2^\circ\text{C}</math>.</p> <p>Entre los accesorios que complementan el funcionamiento están el termostato con un sistema de calefacción digital, termostato analógico con resistencia, una bomba de circulación de agua sumergible.</p>

<p style="text-align: center;"><b>Máquina de Compresión</b></p> 	<p>Marca: Shimadzu.</p> <p>Modelo: Concreto 2000x.</p> <p>Capacidad de prueba: 40 a 2000 KN en rango de 6 etapas.</p> <p>Método de control: Tipo servo hidráulico con función a prueba de explosiones.</p> <p>Diámetro de placa: 220 mm.</p> <p>Esta máquina tiene un indicador de carga de aguja ideal para lectura de la carga total y está controlado bajo el software Trapezium X.</p> <p>Sirve para realizar pruebas de compresión en el concreto de manera segura y eficiente sin causar fracturas explosivas.</p>
--	--

Fuente: [7] [52] [60]

Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

## 2.2 Métodos

El presente trabajo de investigación se basa en un paradigma cuantitativo, puesto que se pretende comparar porcentualmente un grupo de probetas de concreto fabricadas con fibras de carbono versus otro grupo de probetas de hormigón simple, mediante el análisis experimental de algunos parámetros numéricos relacionados con la resistencia de compresión.

Como el diseño de la investigación posee un enfoque cuantitativo se apoya en los siguientes tipos de investigación:

**Investigación bibliográfica (estudios previos):** Se estudia la información técnica, teórica y práctica del hormigón simple y del hormigón reforzado con fibras de carbono usando los medios informáticos, libros especializados y artículos científicos que permitan dotar a la investigación de información actualizada y necesaria para el adecuado desarrollo del experimento.

### **Investigación experimental.**

Consiste en que, el investigador analiza las variables en estudio y su relación entre ellas, para el caso se aplican pruebas de ensayo a un conjunto de probetas que conforman el grupo experimental; para el caso se utiliza pruebas de resistencia a compresión con la finalidad de obtener los datos necesarios para comprobar la hipótesis establecida.

**Análisis cuantitativo:** La investigación cuantitativa que se espera realizar tendrá intervención de datos cuantificables con cantidades y magnitudes como es el caso de la resistencia que dispone de cantidades numéricas con la magnitud de  $\text{Kg/cm}^2$  utilizada con mucha regularidad en el Ecuador, tales valores se tomarán de muestras representativas como criterio de validación. Otros datos que intervendrán en el proyecto experimental serán densidades, masas, dimensiones, cargas. Todos los datos que serán tomados en este trabajo serán reunidos para de esa forma ser jerarquizados, categorizados y calculados a través de un análisis estadístico para describir patrones y relaciones [99]. Los datos serán procesados en una hoja de cálculo electrónica.

En concordancia a los objetivos de la investigación, se planifican las siguientes fases:

- A.** Descripción de las características iniciales de las probetas.
- B.** Ensayos de laboratorio previos en los agregados y en el cemento
- C.** Elaboración de probetas de prueba y cuadro de ensayo.
- D.** Aplicación de pruebas de ensayo a compresión.
- E.** Análisis de resultados y pruebas de hipótesis.

### **2.2.1 Descripción de las características iniciales de las probetas.**

Las probetas de hormigón que están planificadas a elaborarse en este trabajo experimental disponen de dimensiones definidas de acuerdo a la normativa ASTM C31 y a la norma ecuatoriana NTE INEN 1576, en tales normativas se establecen los parámetros y dimensiones que deben seguir los especímenes de concreto para ser ensayados, en este caso, en referencia a lo mencionado en tales normativas los cilindros de hormigón que serán elaborados en este trabajo de titulación tendrán las siguientes dimensiones: un diámetro de la sección transversal de 10 centímetros y una altura de cilindro de 20 centímetros. Al igual que las dimensiones, siguiendo las referencias de las normas, el método de compactación que se utilizará para la elaboración de las probetas de concreto se basará en el método de compactación por varillado, lo que implica que en moldes de acero se colocará la mezcla de hormigón en dos capas y cada capa será compactada con 25 golpes con una varilla con punta redondeada de 10 milímetros de diámetro, y que después de cada 25 golpes con varilla se procede a dar entre 10 y 15 golpes externos al molde [100].

Otra característica a definir es la resistencia a compresión de diseño ( $f'_c$ ) que deberán poseer los especímenes de concreto, por lo que en este caso la resistencia a compresión de diseño de los cilindros de hormigón será de  $210 \text{ Kg/cm}^2$  y un asentamiento esperado de  $8 \pm 2.5 \text{ cm}$  dando como resultado una consistencia adecuada para el concreto.

Las principales características que se determinarán al momento de que el hormigón se encuentre en estado fresco serán la densidad y consistencia, cada propiedad estará definida con su respectiva magnitud, en el caso de la densidad será en  $\text{Kg/m}^3$  y en el caso de la consistencia será en centímetros (cm).

Al momento en que el hormigón cumpla las edades de 7, 14, 21 y 28 días de curado y se encuentre en estado endurecido las propiedades a tomar en cuenta serán la densidad y la resistencia, por lo que la magnitud con la que se determinará la densidad será en  $\text{Kg/m}^3$  y la magnitud para determinar la resistencia será en  $\text{Kg/cm}^2$ .

### **2.2.2 Ejecución de ensayos de laboratorio previos en los agregados y en el cemento que se utilizarán en la elaboración de las probetas de hormigón.**

Se realizaron los ensayos de laboratorio previos en los agregados que se utilizan en la elaboración de las probetas de hormigón, verificando que cumplan las características adecuadas y la calidad amparada en las normativas INEN y ASTM.

Entre los ensayos realizados en los agregados se encuentran:

- **Análisis granulométrico según la norma NTE INEN 696:2010 y ASTM C-136**

Este ensayo se basa en la gradación de partículas tanto de agregado fino como de agregado grueso en tamices graduados según su tamaño colocados de mayor a menor, para después de tamizar los agregados recopilar las masas de los áridos que se encuentren en cada tamiz, de esa forma se obtienen los porcentajes del agregado retenido, porcentajes del agregado retenido acumulado y los porcentajes que pasan. Para los áridos finos se usan los tamices redondos y se coloca la muestra en ellos para llevarlos a un tamizador hasta que las partículas se hayan distribuido dependiendo del tamaño de cada tamiz, en cambio para los áridos gruesos se usan los tamices cuadrados y se tamiza a mano. Uno de los resultados de este ensayo es la curva granulométrica [22].

- **Peso unitario suelto y compactado, y porcentaje de vacíos según la norma NTE INEN 858:2010 y ASTM C-29**

Este ensayo se lo realiza con el agregado fino y grueso en estado seco, el proceso comienza colocando cada agregado por separado en un recipiente para después recoger los datos de las masas que arrojan en estado suelto cada árido, luego se hace el mismo proceso colocando el agregado en el recipiente por capas y cada capa siendo compactada con una varilla de punta redondeada, y finalmente se realiza el proceso compactado con la mezcla de la arena y el ripio en proporciones determinadas en base al ripio. Con este ensayo se obtienen densidades aparentes con la magnitud en  $\text{Kg/dm}^3$ , a su vez con este proceso se determina la densidad óptima de la mezcla de agregados y sus respectivos porcentajes óptimos [30].

- **Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso según la norma NTE INEN 857:2010 y ASTM C-127**

En este ensayo se debe conseguir que el ripio previamente sea secado, para después de eso sumergirlo en agua durante 1 día y posteriormente siga un procedimiento de secado con papel absorbente hasta el punto en que el árido esté en la condición de saturado superficialmente seco. Después de los pasos previos se prosigue a pesar el agregado en una canastilla tanto al aire como en agua, para con eso conseguir el dato de densidad real del ripio con la magnitud en  $\text{Kg/dm}^3$ .

Para determinar la absorción se debe tomar muestras del agregado en la condición de saturado superficialmente seco y con uso de recipientes de metal pesarlos y llevar esas muestras a secar al horno, después de 1 día se debe tomar nota de las masas, para que de esa forma relacionar las masas de las muestras cuando estaban saturadas superficialmente secas y cuando estaban secas. Con este proceso se consigue el porcentaje de absorción del ripio [35].

- **Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino según la norma NTE INEN 856:2010 y ASTM C-128**

El proceso previo que debe seguir el agregado fino es casi similar al que debe seguir el agregado grueso, con la diferencia de que al final del mismo para ser secada la arena se lo realiza con la ayuda de una pistola de aire caliente, y que para determinar que el agregado esté en condición de saturada superficialmente seca se usa el ensayo del cono truncado en el que se coloca el árido en un cono truncado y se lo compacta con pisón, todo eso hasta que al momento de quitar el cono se desmorone una pequeña parte del agregado, confirmando que está en la condición deseada. El proceso continúa al llevar una muestra de árido en condición de saturada superficialmente seca y colocarla en un picnómetro, luego se coloca agua destilada hasta cierto límite y se debe remover hasta que las burbujas de aire del agregado no se encuentren presentes. Finalmente se toma registro de las masas en cada etapa del proceso y también se pesa el picnómetro cuando está solo con el agua destilada sin aire contenido, de esa forma se obtiene la densidad real de la arena con magnitud en  $\text{Kg/dm}^3$ .

Para la absorción se prosigue de forma similar al proceso que se realizó con el árido grueso, para finalmente obtener el porcentaje de absorción del agregado fino [25].

- **Contenido de humedad de los agregados según la norma NTE INEN 862:2011 y ASTM C-566**

El proceso de este ensayo es parecido al que se debe seguir para determinar la absorción con la diferencia de que en este ensayo se deben tomar las muestras iniciales con los agregados en las mismas condiciones naturales en las que se encuentran, para que después de secar las muestras en el horno tomar registro de datos de las masas y determinar de esa forma el contenido de humedad que disponen en ese momento los agregados finos y gruesos [28].

Se ejecutaron ensayos de laboratorio previos en el cemento que se utiliza en la elaboración de las probetas de hormigón. El ensayo realizado en el cemento es el siguiente:

- **Densidad real del cemento según la norma NTE INEN 156 y ASTM C-188**

Este ensayo se lo realiza con el procedimiento del picnómetro, usando gasolina y la muestra de cemento en temperaturas establecidas. Con este ensayo se determina la densidad real del cemento en  $\text{Kg/dm}^3$  que es de gran utilidad para los cálculos de la dosificación de la mezcla de concreto [61].

### **2.2.3 Elaboración de probetas de hormigón simple y el hormigón reforzado con fibras de carbono.**

La elaboración de las probetas de ensayo de hormigón simple y hormigón reforzado con fibra de carbono se basa en las normativas ASTM C 31 e INEN 1576 [100], aunque previamente se tendrá en cuenta la dosificación adecuada de cada componente del concreto según la resistencia establecida anticipadamente, en este caso de  $210 \text{ Kg/cm}^2$ . Para la dosificación del hormigón se utilizará el método de la Densidad Óptima

elaborada por la Universidad Central del Ecuador. Adicionalmente al momento en que se realicen las probetas se realizarán ensayos de las propiedades del hormigón fresco siguiendo las normativas NTE INEN 1578 para determinar el asentamiento con el ensayo de Cono de Abrams [67] y NTE INEN 1579 para determinar la densidad [71].

### 2.2.3.1 Dosificación del Hormigón

El método de dosificación elegido para el hormigón es el método de la Densidad Óptima elaborada por la Universidad Central del Ecuador, por lo que para el desarrollo de método se requiere de los siguientes datos detallados a continuación:

**Tabla 11.** Datos de ensayos preliminares para el Método de Densidad Óptima

Nomenclatura	Descripción	Unidad	Valor
DRC	Densidad real del cemento	Kg/dm <sup>3</sup>	2,793
DRA	Densidad real de la arena	Kg/dm <sup>3</sup>	2,424
DRR	Densidad real del ripio	Kg/dm <sup>3</sup>	2,649
DSA	Densidad aparente suelta de la arena	Kg/dm <sup>3</sup>	1,473
DSR	Densidad aparente suelta del ripio	Kg/dm <sup>3</sup>	1,373
DCA	Densidad aparente compactada de la arena	Kg/dm <sup>3</sup>	1,527
DCR	Densidad aparente compactada del ripio	Kg/dm <sup>3</sup>	1,495
POA	Porcentaje óptimo de la arena	%	45,000
POR	Porcentaje óptimo del ripio	%	55,000
DOM	Densidad óptima de la mezcla	Kg/dm <sup>3</sup>	1,841
CAA	Capacidad de absorción de la arena	%	1,88
CAR	Capacidad de absorción del ripio	%	0,71
CHA	Contenido de humedad de la arena	%	5,08
CHR	Contenido de humedad del ripio	%	2,97
MFA	Módulo de finura de la arena		2,598

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

Cabe señalar que la dosificación del hormigón se usará tanto para las probetas de hormigón simple como para las probetas de hormigón reforzado con fibras de carbono, debido a que la fibra es una lámina que se colocará con una resina que permita adherir el concreto y la fibra de carbono cuando se cumpla los tiempos de curado que se han planificado.

Para hallar la dosificación del concreto en base al método de Densidad Óptima se debe realizar el siguiente procedimiento:

- **Densidad real de la mezcla de los agregados (DRM)**

$$\text{DRM} = \frac{(\text{DRA} * \text{POA}) + (\text{DRR} * \text{POR})}{100}$$

$$\text{DRM} = \frac{(2,424 \text{ Kg/dm}^3 * 45 \%) + (2,649 \text{ Kg/dm}^3 * 55 \%)}{100 \%}$$

$$\text{DRM} = 2,548 \text{ Kg/dm}^3$$

- **Porcentaje óptimo de vacíos (POV)**

$$\text{POV} = \left( \frac{\text{DRM} - \text{DOM}}{\text{DRM}} \right) * 100 \%$$

$$\text{POV} = \frac{(2,548 \text{ Kg/dm}^3) - (1,841 \text{ Kg/dm}^3)}{(2,548 \text{ Kg/dm}^3)} * 100 \%$$

$$\text{POV} = 27,747 \%$$

- **Cantidad de pasta (CP)**

La cantidad de pasta depende de la consistencia que se busca en el concreto, en este caso el asentamiento de diseño está dentro del rango de 6 cm a 9 cm, por lo que la cantidad de pasta se basará en la fórmula correspondiente de la tabla siguiente:

**Tabla 12.** Cantidad de pasta en función del asentamiento

ASENTAMIENTO (cm)	CANTIDAD DE PASTA CP (%)
0 - 3	POV + 2% + 0.03 (POV)
3 - 6	POV + 2% + 0.06 (POV)
6 - 9	POV + 2% + 0.08 (POV)
9 - 12	POV + 2% + 0.11 (POV)
12 - 15	POV + 2% + 0.13 (POV)

Fuente: [7]

$$CP(\%) = POV + 2 \% + 0,08 * (POV)$$

$$CP(\%) = 27,747 \% + 2 \% + 0,08 * (27,747 \%)$$

$$CP(\%) = 31,967 \%$$

Para el volumen total del concreto, la cantidad de pasta será la siguiente:

$$CP = \frac{CP(\%)}{100 \%} * 1000 \text{ dm}^3$$

$$CP = \frac{31,967 \%}{100 \%} * 1000 \text{ dm}^3$$

$$CP = 319,67 \text{ dm}^3$$

- **Relación Agua/Cemento (W/C)**

La relación agua/cemento está en dependencia a la resistencia de diseño que se busca para el hormigón tras un curado de 28 días. La resistencia a compresión de diseño es de 210 Kg/cm<sup>2</sup>, por lo que la relación agua/cemento dependerá de la siguiente tabla:

**Tabla 13.** Relación W/C en función de la resistencia a compresión a los 28 días de edad

Resistencia a los 28 días [kg/cm <sup>2</sup> ]	Relación w/c
450	0,37
420	0,40
400	0,42
350	0,47
320	0,51
300	0,52
280	0,53
250	0,56
240	0,57
<b>210</b>	<b>0,58</b>
180	0,62
150	0,70

Fuente: [11]

$$W/C = 0,58$$

- **Cantidad de cemento (C) para 1 m<sup>3</sup> de hormigón**

$$C = \frac{CP}{W/C + \frac{1}{DRC}}$$

$$C = \frac{319,670 \text{ dm}^3}{0,58 + \frac{1}{2,793 \text{ Kg/dm}^3}}$$

$$C = 340,795 \text{ Kg}$$

- **Cantidad de agua (W) para 1 m<sup>3</sup> de hormigón**

$$W = W/C * C$$

$$W = 0,58 * 340,795 \text{ Kg}$$

$$W = 197,661 \text{ Kg} \rightarrow 197,661 \text{ Lt}$$

- **Cantidad de Arena (A) para 1 m<sup>3</sup> de hormigón**

$$A = (1000 - CP) * \frac{DRA * POA}{100 \%}$$

$$A = (1000 - 319,67 \text{ dm}^3) * \frac{(2,424 \text{ Kg/dm}^3 * 45 \%)}{100 \%}$$

$$A = 742,175 \text{ Kg}$$

- **Cantidad de Ripio (R) para 1 m<sup>3</sup> de hormigón**

$$R = (1000 - CP) * \frac{DRR * POR}{100 \%}$$

$$R = (1000 - 319,67 \text{ dm}^3) * \frac{(2,649 \text{ Kg/dm}^3 * 55 \%)}{100 \%}$$

$$R = 991,333 \text{ Kg}$$

- **Dosificación al peso**

$$\text{Dosificación al peso} = \frac{\text{Cantidad de material por } 1 \text{ m}^3 \text{ de hormigón}}{\text{Cantidad de cemento por } 1 \text{ m}^3 \text{ de hormigón}}$$

**Tabla 14.** Dosificación al peso

Material	Cantidad de Kg por cada m3 de Hormigón	Dosificación al peso
W	197,661	0,580
C	340,795	1,000
A	742,175	2,178
R	991,333	2,909

Total 2271,964 Kg/m3 Densidad del Hormigón

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

- **Dosificación para 1 saco de cemento (50 Kg)**

$$\text{Dosificación para 1 saco de cemento} = \frac{\text{Dosificación al peso (W, A, R)} * 50 \text{ Kg}}{1}$$

**Tabla 15.** Dosificación para 1 saco de cemento (50 Kg)

Material	Cantidad de Kg por cada m3 de Hormigón	Dosificación al peso	Cantidad por cada saco de cemento
W	197,661	0,580	29,000
C	340,795	1,000	50,000
A	742,175	2,178	108,889
R	991,333	2,909	145,444

Lt  
Kg  
Kg  
Kg

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

- **Volumen de hormigón necesario para los cilindros (VCH)**

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

Se realizará la dosificación para 8 cilindros debido a que son 6 cilindros por cada tiempo de curado y 2 adicionales para tomar en cuenta el posible desperdicio.

**Tabla 16.** Volumen de hormigón necesario para los cilindros (VCH)

D	Diámetro del cilindro	cm	10,00
H	Altura del cilindro	cm	20,00
# Cilindros	Número de cilindros		8
VCH	Volumen de Hormigón necesario para cilindros	cm <sup>3</sup>	12566,3706
VCH	Volumen de Hormigón necesario para cilindros	dm <sup>3</sup>	12,5664
VCH	Volumen de Hormigón necesario para cilindros	m <sup>3</sup>	0,01257

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

• **Dosificación para el volumen necesario de los cilindros de hormigón**

Hormigón				Cemento	
1	m <sup>3</sup>	→	340,795	Kg	
0,01257	m <sup>3</sup>	→	X		

Hormigón				Cemento	
1	m <sup>3</sup>	→	340,795	Kg	
0,01257	m <sup>3</sup>	→	4,283	Kg	

$$\text{Dosificación} = \frac{\text{Dosificación al peso (W, A, R)} * \text{Cantidad de cemento}}{1}$$

**Tabla 17.** Dosificación para el volumen necesario de los cilindros de hormigón

Material	Cantidad de Kg por cada m <sup>3</sup> de Hormigón	Dosificación al peso	Dosificación de hormigón para cilindros	
W	197,661	0,580	2,484	Lt
C	340,795	1,000	4,283	Kg
A	742,175	2,178	9,326	Kg
R	991,333	2,909	12,457	Kg

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

- **Corrección de la dosificación por humedad**

$$\text{Corrección por humedad de la arena} = \left( \frac{\text{CAA} - \text{CHA}}{100 \%} \right) * A$$

$$\text{Corrección por humedad del ripio} = \left( \frac{\text{CAR} - \text{CHR}}{100 \%} \right) * R$$

**Tabla 18.** Corrección de la dosificación por humedad

Material	Dosificación al peso	Dosificación de hormigón para cilindros (Kg)	C. A (%)	C. H (%)	Corrección de Humedad		Cantidad Corregida Dosificación de hormigón para cilindros (Kg)	Corrección Dosificación al peso
					%	Kg		
W	0,580	2,484	-	-	-	-0,579	1,905	0,445
C	1,000	4,283	-	-	-	-	4,283	1,000
A	2,178	9,326	1,883	5,076	-3,193	-0,298	9,624	2,247
R	2,909	12,457	0,707	2,965	-2,258	-0,281	12,739	2,975

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

- **Dosificación de hormigón para cilindros**

**Tabla 19.** Dosificación de hormigón para cilindros

Material	Cantidad Corregida Dosificación de hormigón para cilindros (Kg)	
W	1,90	Litros
C	4,28	Kg
A	9,62	Kg
R	12,74	Kg

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

### 2.2.3.2 Población y muestra

Tomando en consideración la normativa ASTM C 31 que solicita que el número mínimo de especímenes de concreto que se pueda realizar sea 2 y debido a este proyecto de tipo experimental, se decidió que la cantidad de probetas de hormigón a realizarse sea 3 por cada tipo de hormigón y en función de cada edad, por lo que en total se obtiene una cantidad de 30 cilindros de hormigón.

#### Cuadro de ensayo:

**Tabla 20.** Cuadro de ensayo para el proyecto de tipo experimental

<b>Características de las Probetas de Ensayo</b>	
<b>Diámetro del Cilindro</b>	10 cm
<b>Altura del cilindro</b>	20 cm
<b>#Cilindros</b>	<b>Detalle de Probetas para ensayar</b>
3	Hormigón simple a los 7 días de edad.
3	Hormigón simple a los 14 días de edad.
3	Hormigón simple a los 21 días de edad.
3	Hormigón simple a los 28 días de edad.
3	Hormigón simple con 14 días de curado y 14 días expuesto al agua salada.
3	Hormigón reforzado con fibra de carbono a los 7 días de edad.
3	Hormigón reforzado con fibra de carbono a los 14 días de edad.
3	Hormigón reforzado con fibra de carbono a los 21 días de edad.
3	Hormigón reforzado con fibra de carbono a los 28 días de edad.
3	Hormigón reforzado con fibra de carbono con 14 días de curado y 14 días expuesto al agua salada.
<b>TOTAL DE PROBETAS A ENSAYAR:</b>	<b>30</b>

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

### **2.2.3.3 Proceso de colocación de la lámina de fibra de carbono**

Luego de elaboración de la mezcla de concreto siguiendo la normativa ASTM C 31 e INEN 1576 [100] y respetando la dosificación calculada en base al método de Densidad Óptimo, se prosigue con los ensayos al hormigón en estado fresco contemplados en la normativa NTE INEN 1578 para determinar el asentamiento con el ensayo de Cono de Abrams [67] y la norma NTE INEN 1579 para determinar la densidad [71]. Posteriormente se debe continuar con el proceso de desencofrado de las probetas de concreto y el curado de los especímenes utilizando la cámara de curado de los Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Cuando los cilindros de hormigón hayan cumplido la edad establecida, los especímenes de concreto que son destinados a ser reforzados con la lámina de fibra de carbono deben continuar con el siguiente proceso:

- **Preparación de las superficies**

Se deben retirar los cilindros de hormigón de la cámara de curado y se procede a una limpieza profunda de las probetas asegurándose de que la superficie de concreto y la superficie de fibra de carbono estén libres de cualquier agente que impida la correcta adherencia entre los dos materiales, ya sea polvo, líquidos u agentes químicos. Cabe mencionar que las láminas de fibra de carbono deben ser recortadas dependiendo de las dimensiones de la superficie de hormigón en donde van a ser colocadas.

- **Impregnación del adhesivo en base a resinas tanto en el hormigón como en la fibra de carbono**

Luego de preparar las superficies de hormigón y de fibra de carbono se debe impregnar el adhesivo de contacto de fabricado con cauchos de cloropreno y resinas fenólicas de excelente calidad en la superficie de concreto y en la superficie de fibra de carbono. Posteriormente se debe dejar reposar un tiempo mayor a 25 minutos.

- **Colocación de la fibra de carbono en la probeta de concreto**

Después del reposo de las superficies de los cilindros de hormigón se procede a colocar la fibra de carbono en la superficie de concreto preparada, de esa forma se refuerza a cada probeta de hormigón destinada a ser reforzada con tal fibra.

#### **2.2.4 Realización de pruebas de ensayo a compresión**

Se realizaron las pruebas de ensayos a compresión con probetas de hormigón simple y hormigón reforzado con fibras de carbono basándose en la normativa NTE INEN 1573:2010 [78] y ASTM C39 [77], de esa forma se obtienen los resultados de las pruebas que en este caso corresponderán a la resistencia a compresión de cada probeta cuya cantidad será expresada en Kg/cm<sup>2</sup>.

#### **2.2.5 Procesamiento de datos y análisis de la información**

Al momento de identificar a los especímenes de hormigón que serán reforzados con fibra de carbono de los especímenes de hormigón simple se establece una codificación para identificarlos, en este caso para los cilindros de concreto reforzado con la fibra se utilizará la denominación “FC” y para las probetas de hormigón simple se usará la denominación “HS”.

Se procesarán y tabularán los datos de que se obtengan en cada ensayo de laboratorio establecido en este trabajo experimental mediante la utilización de hojas electrónicas en donde con el uso de gráficos, tablas, promedios, porcentajes y demás parámetros estadísticos se procederá con el análisis de los resultados.

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Análisis y discusión de resultados

##### 3.1.1 Ensayos de laboratorio previos en los agregados y en el cemento

##### Análisis granulométrico del agregado fino

**Tabla 21.** Análisis granulométrico del agregado fino

<b>Análisis granulométrico del agregado fino</b>						
<b>Origen:</b>	Cantera Volcán Baños de Agua Santa					
<b>Ensayado por:</b>	Carlos Alberto Tisalema Tasigchana					
<b>Norma:</b>	NTE INEN 696:2010 / ASTM C-136			<b>Fecha:</b>		28/Sep/2022
<b>Muestra (gr):</b>	600,02			<b>Pérdida de la muestra:</b>		0,03%
<b>Tamiz (pulgadas)</b>	<b>Tamiz (mm)</b>	<b>Retenido Parcial (gr)</b>	<b>Retenido Acumulado (gr)</b>	<b>Porcentaje Retenido Parcial (%)</b>	<b>Porcentaje Retenido Acumulado (%)</b>	<b>Porcentaje que Pasa (%)</b>
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
No. 4	4,75	10,59	10,59	1,76	1,76	98,24
No. 8	2,36	66,22	76,81	11,04	12,80	87,20
No. 16	1,18	91,29	168,10	15,21	28,02	71,98
No. 30	0,60	116,26	284,36	19,38	47,39	52,61
No. 50	0,30	152,87	437,23	25,48	72,87	27,13
No. 100	0,15	144,52	581,75	24,09	96,96	3,04
No. 200	0,075	15,49	597,24	2,58	99,54	0,46
Bandeja		2,61	599,85	0,43	99,97	0,03
<b>Módulo de Finura:</b>				2,598		

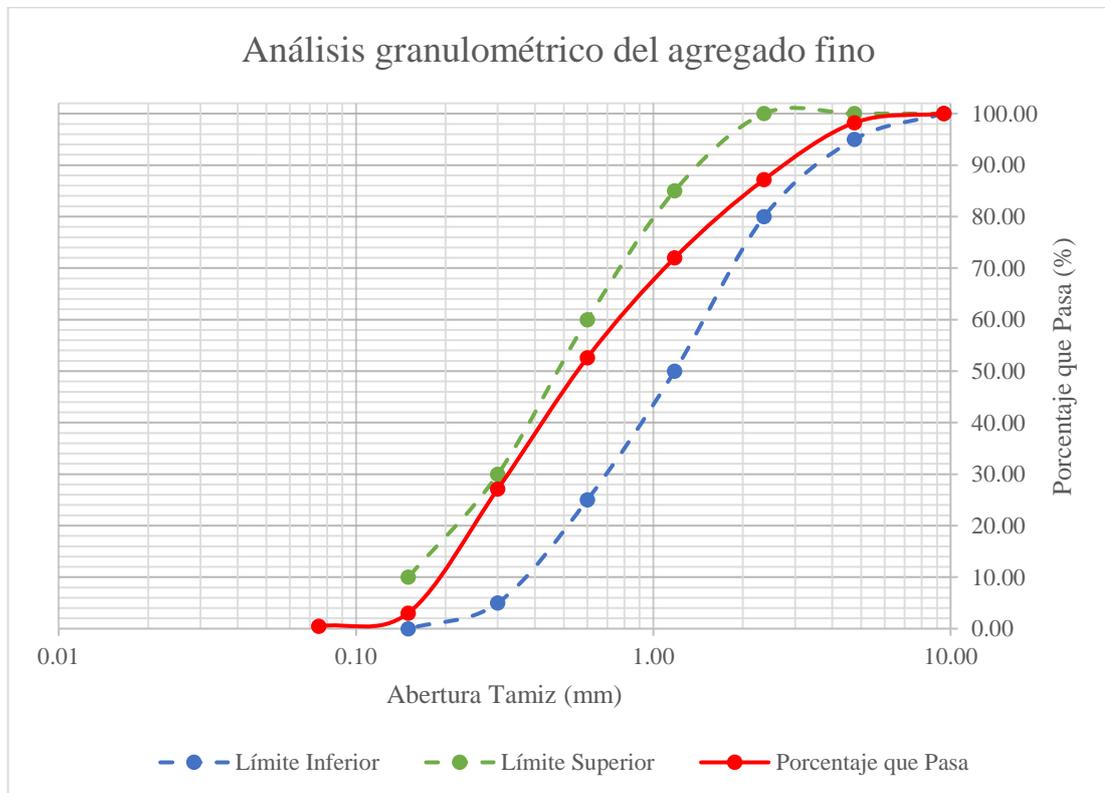
Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

**Tabla 22.** Límites y porcentaje que pasa el árido fino

Análisis granulométrico del agregado fino				
Muestra (gr):		600,02	Límites NTE INEN 872:2011	
Pérdida de la muestra:		0,03%	Porcentaje que Pasa (%)	
Tamiz (pulgadas)	Tamiz (mm)	Porcentaje que Pasa (%)	Límite Inferior (%)	Límite Superior (%)
3/8"	9,50	100,00	100,00	100,00
No. 4	4,75	98,24	95,00	100,00
No. 8	2,36	87,20	80,00	100,00
No. 16	1,18	71,98	50,00	85,00
No. 30	0,60	52,61	25,00	60,00
No. 50	0,30	27,13	5,00	30,00
No. 100	0,15	3,04	0,00	10,00
No. 200	0,075	0,46	-	-
Bandeja		0,03	-	-

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

**Gráfica 1.** Análisis granulométrico del agregado fino



Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

## Análisis granulométrico del agregado grueso

**Tabla 23.** Análisis granulométrico del agregado grueso

Análisis granulométrico del agregado grueso						
<b>Origen:</b>	Cantera Volcán Baños de Agua Santa					
<b>Ensayado por:</b>	Carlos Alberto Tisalema Tasigchana					
<b>Norma:</b>	NTE INEN 696:2010 / ASTM C-136			<b>Fecha:</b>	28/Sep/2022	
<b>Muestra (gr):</b>	6083,00			<b>Pérdida de la muestra:</b>	0,09%	
Tamiz (pulgadas)	Tamiz (mm)	Retenido Parcial (gr)	Retenido Acumulado (gr)	Porcentaje Retenido Parcial (%)	Porcentaje Retenido Acumulado (%)	Porcentaje que Pasa (%)
1 1/2"	37,50	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,00	249,00	249,00	4,09	4,09	95,91
1/2"	12,50	3130,00	3379,00	51,45	55,55	44,45
3/8"	9,50	2419,00	5798,00	39,77	95,31	4,69
No. 4	4,75	260,00	6058,00	4,27	99,59	0,41
Bandeja		19,5	6077,50	0,32	99,91	0,09
<b>Tamaño Nominal Máximo:</b>				3/4"		

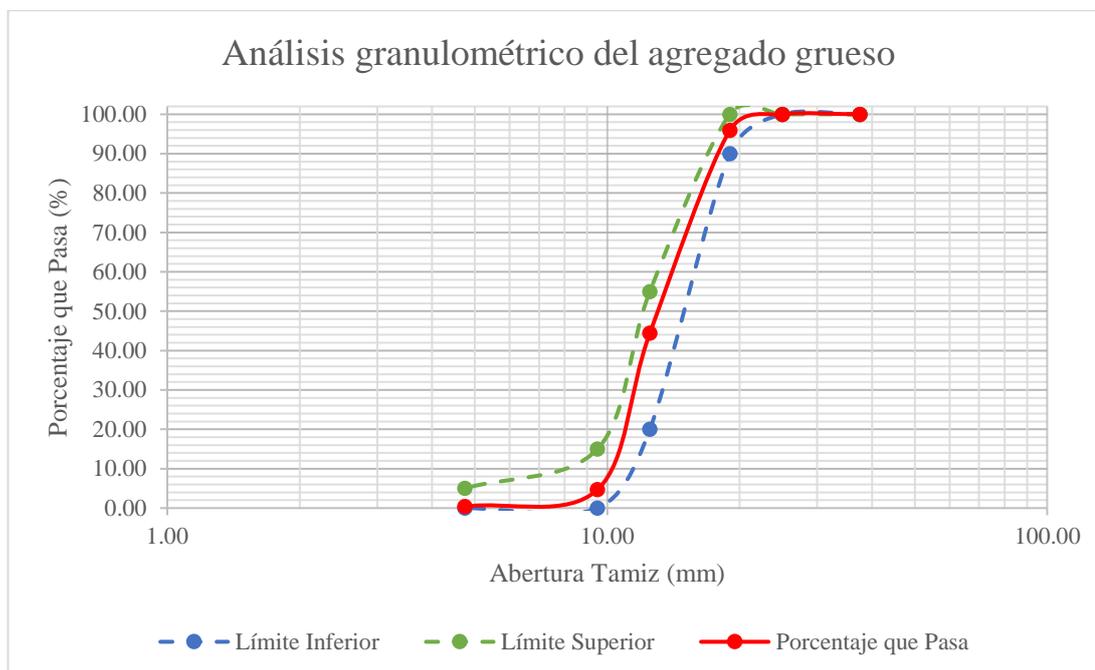
Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

**Tabla 24.** Límites y porcentaje que pasa el árido grueso

Análisis granulométrico del agregado grueso				
<b>Muestra (gr):</b>		6083,00	<b>Límites NTE INEN 872:2011</b>	
<b>Pérdida de la muestra:</b>		0,09%	<b>Porcentaje que Pasa (%)</b>	
Tamiz (pulgadas)	Tamiz (mm)	Porcentaje que Pasa (%)	Límite Inferior (%)	Límite Superior (%)
1 1/2"	37,50	100,00	100,00	100,00
1"	25,00	100,00	100,00	100,00
3/4"	19,00	95,91	90,00	100,00
1/2"	12,50	44,45	20,00	55,00
3/8"	9,50	4,69	0,00	15,00
No. 4	4,75	0,41	0,00	5,00
Bandeja		0,09	-	-
<b>Número de Tamaño:</b>			6	

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

**Gráfica 2.** Análisis granulométrico del agregado grueso



Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

### Densidad aparente suelta y compactada de los agregados

**Tabla 25.** Densidad aparente suelta y compactada del agregado fino

Densidad aparente suelta y compactada del agregado fino				
<b>Origen:</b>	Cantera Volcán Baños de Agua Santa			
<b>Ensayado por:</b>	Carlos Alberto Tisalema Tasigchana			
<b>Norma:</b>	NTE INEN 858:2010 /ASTM C-29			
<b>Fecha:</b>	6/10/2022			
Descripción		Unidad	Valor	
Masa del recipiente:		Kg	9,97	
Altura del recipiente:		cm	29,40	
Diámetro del recipiente:		cm	29,90	
Volumen del recipiente:		dm <sup>3</sup>	20,64	
Densidad Aparente	Agregado + Recipiente (Kg)	Agregado (Kg)	Densidad Aparente (Kg/dm <sup>3</sup> )	Densidad Aparente Promedio (Kg/dm <sup>3</sup> )
Suelta	39,635	29,665	1,437	1,473
	41,135	31,165	1,510	
Compactada	41,555	31,585	1,530	1,527
	41,450	31,480	1,525	

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

**Tabla 26.** Densidad aparente suelta y compactada del agregado grueso

<b>Densidad aparente suelta y compactada del agregado grueso</b>				
<b>Origen:</b>	Cantera Volcán Baños de Agua Santa			
<b>Ensayado por:</b>	Carlos Alberto Tisalema Tasigchana			
<b>Norma:</b>	NTE INEN 858:2010 /ASTM C-29			
<b>Fecha:</b>	6/10/2022			
<b>Descripción</b>		<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>	
Masa del recipiente:		Kg	9,97	
Altura del recipiente:		cm	29,40	
Diámetro del recipiente:		cm	29,90	
Volumen del recipiente:		dm3	20,64	
<b>Densidad Aparente</b>	<b>Agregado + Recipiente (Kg)</b>	<b>Agregado (Kg)</b>	<b>Densidad Aparente (Kg/dm3)</b>	<b>Densidad Aparente Promedio (Kg/dm3)</b>
Suelta	38,655	28,685	1,390	1,373
	37,990	28,020	1,357	
Compactada	40,750	30,780	1,491	1,495
	40,910	30,940	1,499	

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

**Tabla 27.** Densidad aparente compactada de la mezcla de agregado fino y grueso I

<b>Densidad aparente compactada de la mezcla</b>								
<b>Origen:</b>		Cantera Volcán Baños de Agua Santa						
<b>Ensayado por:</b>		Carlos Alberto Tisalema Tasigchana						
<b>Norma:</b>		NTE INEN 858:2010 /ASTM C-29						
<b>Fecha:</b>		7/10/2022						
<b>Descripción</b>					<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>		
Masa del recipiente:					Kg	9,97		
Altura del recipiente:					cm	29,40		
Diámetro del recipiente:					cm	29,90		
Volumen del recipiente:					dm3	20,64		
<b>Porcentaje de Mezcla (%)</b>		<b>Cantidad (Kg)</b>		<b>Agregado Fino Añadido (Kg)</b>	<b>Agregado + Recipiente (Kg)</b>	<b>Agregado (Kg)</b>	<b>Densidad Aparente Mezcla (Kg/dm3)</b>	<b>Densidad Aparente Promedio (Kg/dm3)</b>
A. Grueso	A. Fino	A. Grueso	A. Fino	A. Fino	Agregado Fino + Agregado Grueso			
100	0	40,00	0,00	0,00	40,465	30,495	1,477	1,471
					40,225	30,255	1,466	
90	10	40,00	4,44	4,44	42,920	32,950	1,596	1,596
					42,900	32,930	1,595	
80	20	40,00	10,00	5,56	45,270	35,300	1,710	1,707
					45,150	35,180	1,704	

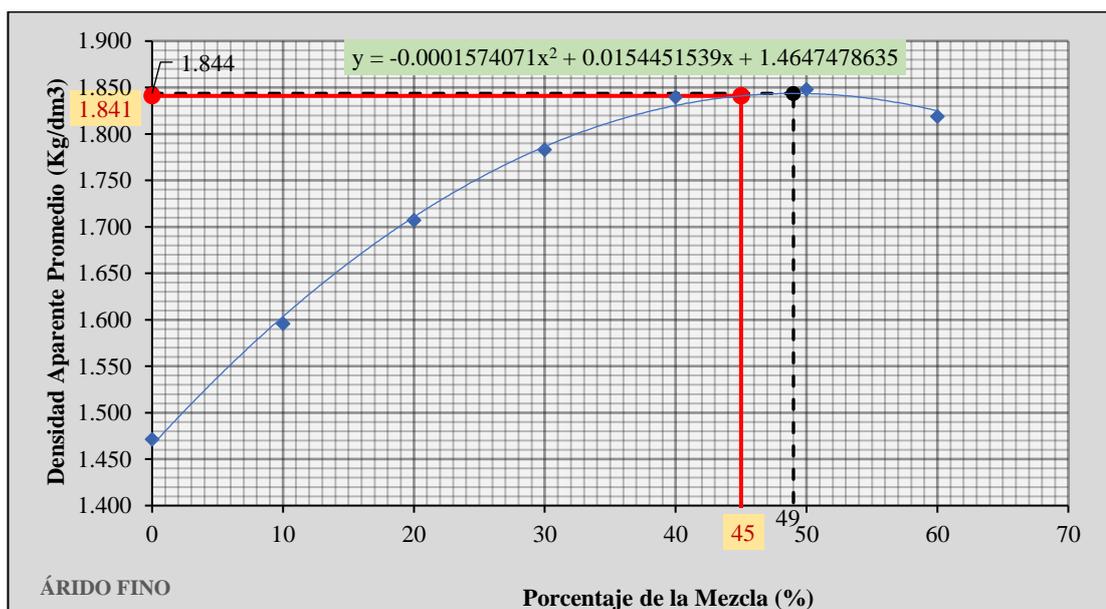
Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

**Tabla 28.** Densidad aparente compactada de la mezcla de agregado fino y grueso II

Densidad aparente compactada de la mezcla								
<b>Origen:</b>		Cantera Volcán Baños de Agua Santa						
<b>Ensayado por:</b>		Carlos Alberto Tisalema Tasigchana						
<b>Norma:</b>		NTE INEN 858:2010 /ASTM C-29						
<b>Fecha:</b>		7/10/2022						
Descripción					Unidad	Valor		
Masa del recipiente:					Kg	9,97		
Altura del recipiente:					cm	29,40		
Diámetro del recipiente:					cm	29,90		
Volumen del recipiente:					dm <sup>3</sup>	20,64		
Porcentaje de Mezcla (%)		Cantidad (Kg)		Agregado Fino Añadido (Kg)	Agregado + Recipiente (Kg)	Agregado (Kg)	Densidad Aparente Mezcla (Kg/dm <sup>3</sup> )	Densidad Aparente Promedio (Kg/dm <sup>3</sup> )
A. Grueso	A. Fino	A. Grueso	A. Fino	A. Fino	Agregado Fino + Agregado Grueso			
70	30	40,00	17,14	7,14	46,745	36,775	1,781	1,783
					46,815	36,845	1,785	
60	40	40,00	26,67	9,52	47,975	38,005	1,841	1,840
					47,930	37,960	1,839	
50	50	40,00	40,00	13,33	48,165	38,195	1,850	1,848
					48,080	38,110	1,846	
40	60	40,00	60,00	20,00	47,545	37,575	1,820	1,819
					47,490	37,520	1,818	

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

**Gráfica 3.** Densidad aparente compactada de la mezcla de agregado fino y grueso



Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

**Tabla 29.** Porcentajes máximos y óptimos de la mezcla de agregados

Porcentaje Máximo de Agregado Fino	49	%
Porcentaje Máximo de Agregado Grueso	51	%
Porcentaje Óptimo de Agregado Fino	45	%
Porcentaje Óptimo de Agregado Grueso	55	%
Densidad Aparente Máxima del Agregado (Mezcla)	1,844	Kg/dm <sup>3</sup>
Densidad Aparente Óptimo del Agregado (Mezcla)	1,841	Kg/dm <sup>3</sup>

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

### Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso

**Tabla 30.** Densidad real del agregado grueso

Densidad real del agregado grueso			
<b>Origen:</b>	Cantera Volcán Baños de Agua Santa		
<b>Ensayado por:</b>	Carlos Alberto Tisalema Tasigchana		
<b>Norma:</b>	NTE INEN 857:2010 /ASTM C-127		
<b>Fecha:</b>	6/Octubre/2022		
Nomenclatura	Descripción	Unidad	Valor
m1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1174,00
m2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1099,00
m3	Masa de la canastilla + Muestra SSS en el aire	gr	4181,00
m4	Masa de la canastilla + Muestra SSS en el agua	gr	2971,00
DA	Densidad real del agua	gr/cm <sup>3</sup>	1,000
m5 = m3 - m1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	3007,00
m6 = m4 - m2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr	1872,00
VR = (m5-m6)/DA	Volumen real de la muestra	cm <sup>3</sup>	1135,00
DRR = m5/VR	Densidad real del ripio	gr/cm <sup>3</sup>	2,649

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

**Tabla 31.** Capacidad de absorción del agregado grueso

Capacidad de absorción del agregado grueso				
<b>Origen:</b>	Cantera Volcán Baños de Agua Santa			
<b>Ensayado por:</b>	Carlos Alberto Tisalema Tasigchana			
<b>Norma:</b>	NTE INEN 857:2010 /ASTM C-127			
<b>Fecha:</b>	6/Octubre/2022			
Nomenclatura	Descripción	Unidad	Valor	
			Muestra 1	Muestra 2
m7	Masa del recipiente	gr	113,00	201,50
m8	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	568,50	763,00
m9 = m8 - m7	Masa de la muestra SSS	gr	455,50	561,50
m10	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	563,00	758,00
m11 = m10 - m7	Masa de la muestra seca	gr	450,00	556,50
CA = ((m9-m11)/m11)*100	Capacidad de absorción	%	1,22	0,90
CAR = (CA1+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio del ripio	%	0,71	

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

## Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino

**Tabla 32.** Densidad real del agregado fino

Densidad real del agregado fino			
<b>Origen:</b>	Cantera Volcán Baños de Agua Santa		
<b>Ensayado por:</b>	Carlos Alberto Tisalema Tasigchana		
<b>Norma:</b>	NTE INEN 856:2010 /ASTM C-128		
<b>Fecha:</b>	6/Octubre/2022		
Nomenclatura	Descripción	Unidad	Valor
m1	Masa del picnómetro	gr	153,43
m2	Masa del picnómetro + Muestra SSS	gr	653,33
m3	Masa del picnómetro + Muestra SSS + Agua	gr	946,01
m4 = m3 - m2	Masa de agua añadida	gr	292,68
m5	Masa del picnómetro + 500 cm <sup>3</sup> de agua	gr	651,54
m6 = m5 - m1	Masa de 500 cm <sup>3</sup> de agua	gr	498,11
DA = m6/500cm <sup>3</sup>	Densidad del agua	gr/cm <sup>3</sup>	0,996
m7 = m6 - m4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	205,43
Msss = m2 - m1	Masa del agregado	gr	499,90
Vsss = m7/DA	Volumen del agua desalojada	cm <sup>3</sup>	206,21
DRA = Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm <sup>3</sup>	2,424

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

**Tabla 33.** Capacidad de absorción del agregado fino

Capacidad de absorción del agregado fino					
<b>Origen:</b>	Cantera Volcán Baños de Agua Santa				
<b>Ensayado por:</b>	Carlos Alberto Tisalema Tasigchana				
<b>Norma:</b>	NTE INEN 856:2010 /ASTM C-128				
<b>Fecha:</b>	6/Octubre/2022				
Nomenclatura	Descripción	Unidad	Valor		
			Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
m8	Masa del recipiente	gr	30,88	30,75	38,10
m9	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	194,03	197,22	288,84
m10 = m9 - m8	Masa de la muestra SSS	gr	163,15	166,47	250,74
m11	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	190,78	193,67	285,29
m12 = m11 - m8	Masa de la muestra seca	gr	159,90	162,92	247,19
CA = ((m10-m12)/m12)*100	Capacidad de absorción	%	2,03	2,18	1,44
CAA = (CA1+CA2+CA3)/2	Capacidad de absorción promedio de la arena	%	1,88		

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

## Densidad real del cemento

**Tabla 34.** Densidad real del cemento

<b>Densidad real del cemento</b>			
<b>Origen:</b>	Cemento Selva Alegre		
<b>Ensayado por:</b>	Carlos Alberto Tisalema Tasigchana		
<b>Norma:</b>	NTE INEN 156 /ASTM C-188		
<b>Fecha:</b>	29/Septiembre/2022		
<b>Nomenclatura</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
m1	Masa del picnómetro	gr	153,45
m2	Masa del picnómetro + Cemento	gr	217,70
m3	Masa del picnómetro + Cemento + Gasolina	gr	573,13
m4 = m3 - m2	Masa de gasolina añadida	gr	355,43
m5	Masa del picnómetro + 500 cm3 de gasolina	gr	526,02
m6 = m5 - m1	Masa de 500 cm3 de gasolina	gr	372,57
DG = m6/500cm3	Densidad de la gasolina	gr/cm3	0,745
m7 = m6 - m4	Masa de la gasolina desalojada por el cemento	gr	17,14
Mc = m2 - m1	Masa del cemento	gr	64,25
Vc = m7/DG	Volumen de gasolina desalojada	cm3	23,00
DRC = Msss/Vsss	Densidad real del cemento	gr/cm3	2,793

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

## Contenido de humedad del agregado fino

**Tabla 35.** Contenido de humedad del agregado fino

<b>Contenido de humedad del agregado fino</b>							
<b>Origen:</b>	Cantera Volcán Baños de Agua Santa						
<b>Ensayado por:</b>	Carlos Alberto Tisalema Tasigchana						
<b>Norma:</b>	NTE INEN 862:2011 /ASTM C-566						
<b>Fecha:</b>	7/Noviembre/2022						
<b>Nomenclatura</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>				
			Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
m1	Masa del recipiente	gr	46,54	32,34	28,81	30,91	30,08
m2	Masa del recipiente + Muestra	gr	158,76	186,02	169,68	152,76	136,20
m3 = m2 - m1	Masa de la muestra	gr	112,22	153,68	140,87	121,85	106,12
m4	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	153,07	180,12	160,85	146,55	132,13
m5 = m4 - m1	Masa de la muestra seca	gr	106,53	147,78	132,04	115,64	102,05
CH	Contenido de Humedad	%	5,34	3,99	6,69	5,37	3,99
CHA	Contenido de Humedad promedio de la arena	%	5,08				

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

## Contenido de humedad del agregado grueso

**Tabla 36.** Contenido de humedad del agregado grueso

Contenido de humedad del agregado grueso							
<b>Origen:</b>	Cantera Volcán Baños de Agua Santa						
<b>Ensayado por:</b>	Carlos Alberto Tisalema Tasigchana						
<b>Norma:</b>	NTE INEN 862:2011 /ASTM C-566						
<b>Fecha:</b>	7/Noviembre/2022						
Nomenclatura	Descripción	Unidad	Valor				
			Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
m1	Masa del recipiente	gr	50,46	49,19	48,30	49,43	48,70
m2	Masa del recipiente + Muestra	gr	364,65	364,42	365,24	366,41	368,78
m3 = m2 - m1	Masa de la muestra	gr	314,19	315,23	316,94	316,98	320,08
m4	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	360,68	355,10	355,35	356,47	356,35
m5 = m4 - m1	Masa de la muestra seca	gr	310,22	305,91	307,05	307,04	307,65
CH	Contenido de Humedad	%	1,28	3,05	3,22	3,24	4,04
CHR	Contenido de Humedad promedio del ripio	%	2,97				

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

### 3.1.2 Determinación de las propiedades del hormigón en estado fresco

**Tabla 37.** Propiedades de los cilindros de hormigón de  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  con denominación “HS” en estado fresco

Universidad Técnica de Ambato Facultad de ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil												
Tema: "Comparación de la resistencia a compresión entre el hormigón simple y el hormigón reforzado con fibra de carbono"												
Propiedades del Hormigón Fresco												
Ensayado por:		Carlos Alberto Tisalema Tasigchana			Norma:	NTE INEN 1578 - NTE INEN 1579			Fecha:	09/Noviembre/2022		
Molde	Diámetro del Molde (cm)	Altura del Molde (cm)	Volumen del Molde (m3)	Peso del Molde (Kg)	Peso del Molde + Hormigón (Kg)	Peso del Hormigón (Kg)	Trabajabilidad	Asentamiento (cm)	Consistencia	Homogeneidad	Densidad (Kg/m3)	Densidad Media (Kg/m3)
HS 1	10,30	20,30	0,00169	5,110	8,945	3,84	Buena	6,00	Media	Buena	2267,28	2254,47
HS 2	10,30	20,30	0,00169	4,755	8,560	3,81					2249,54	
HS 3	10,30	20,30	0,00169	4,755	8,555	3,80					2246,59	
HS 4	10,30	20,30	0,00169	4,675	8,580	3,91	Buena	6,00	Media	Buena	2308,66	2286,00
HS 5	10,30	20,30	0,00169	4,720	8,560	3,84					2270,24	
HS 6	10,30	20,30	0,00169	4,620	8,475	3,86					2279,10	
HS 7	10,30	20,30	0,00169	4,790	8,610	3,82	Buena	6,00	Media	Buena	2258,41	2266,29
HS 8	10,30	20,30	0,00169	4,805	8,670	3,87					2285,02	
HS 9	10,30	20,30	0,00169	4,710	8,525	3,82					2255,46	
HS 10	10,30	20,30	0,00169	4,635	8,435	3,80	Buena	6,50	Media	Buena	2246,59	2260,12
HS 11	9,90	19,90	0,00153	7,735	11,210	3,48					2268,51	
HS 12	9,90	19,90	0,00153	7,725	11,195	3,47					2265,25	
HS 13	9,90	19,90	0,00153	7,740	11,205	3,47	Buena	6,50	Media	Buena	2261,99	2240,23
HS 14	9,90	19,90	0,00153	7,740	11,160	3,42					2232,61	
HS 15	9,90	19,90	0,00153	7,710	11,120	3,41					2226,08	

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema

En base a las normativas NTE INEN 1578 y NTE INEN 1579 se pudo determinar las propiedades del hormigón en estado fresco, entre las que destacan la consistencia y la densidad respectivamente, en este caso las probetas con denominación “HS” que tienen relación con los cilindros destinados a ser ensayados como hormigón simple, presentan los siguientes resultados de densidad y consistencia:

- Para las probetas HS 1, HS 2 y HS 3 el valor promedio de densidad obtenido fue de  $2254.47 \text{ Kg/m}^3$ , valor que supera el valor de  $2160 \text{ Kg/m}^3$  estipulado para el hormigón simple en la normativa ACI 318-19, lo que es óptimo. El asentamiento fue de 6 cm y se ubica dentro del rango permitido de  $8 \text{ cm} \pm 2.5 \text{ cm}$  equivalente a una consistencia media.
- En los cilindros denominados como HS 4, HS 5 y HS 6 el valor medio de densidad obtenido fue de  $2286 \text{ Kg/m}^3$ , valor que es superior a  $2160 \text{ Kg/m}^3$  determinado para el hormigón simple en la normativa ACI 318-19, lo que resulta óptimo. También se consiguió un asentamiento de 6 cm y tal valor se ubica dentro del rango permitido de  $8 \text{ cm} \pm 2.5 \text{ cm}$  para una consistencia media adecuada.
- En las probetas HS 7, HS 8 y HS 9 el resultado medio de densidad obtenido fue de  $2266.29 \text{ Kg/m}^3$ , lo que resulta favorable debido a que tal cantidad supera los  $2160 \text{ Kg/m}^3$  estipulados para el hormigón simple en la normativa ACI 318-19. El asentamiento fue de 6 cm que se coloca dentro del rango permitido para una consistencia media de  $8 \text{ cm} \pm 2.5 \text{ cm}$ .
- En el caso de las probetas denominadas como HS 10, HS 11 y HS 12 el resultado promedio de densidad conseguido fue de  $2260.12 \text{ Kg/m}^3$ , lo que resulta óptimo debido a que tal valor es superior a los  $2160 \text{ Kg/m}^3$  determinados para el hormigón simple en la normativa ACI 318-19. El asentamiento alcanzado fue de 6.5 cm que se sitúa dentro del rango permitido de  $8 \text{ cm} \pm 2.5 \text{ cm}$  de consistencia media.
- Por otra parte, en los cilindros HS 13, HS 14 y HS 15 la cantidad media de densidad obtenida fue de  $2240.23 \text{ Kg/m}^3$ , cantidad óptima que supera los  $2160 \text{ Kg/m}^3$  estipulados para el hormigón simple en la normativa ACI 318-19. El asentamiento se ubica dentro del rango permitido de  $8 \text{ cm} \pm 2.5 \text{ cm}$  para una consistencia media y fue de 6.5 cm.

**Tabla 38.** Propiedades de los cilindros de hormigón de  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  con denominación “FC” en estado fresco

Universidad Técnica de Ambato Facultad de ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil												
Tema: "Comparación de la resistencia a compresión entre el hormigón simple y el hormigón reforzado con fibra de carbono"												
Propiedades del Hormigón Fresco												
Ensayado por:		Carlos Alberto Tisalema Tasigchana			Norma:	NTE INEN 1578 - NTE INEN 1579			Fecha:	09/Noviembre/2022		
Molde	Diámetro del Molde (cm)	Altura del Molde (cm)	Volumen del Molde (m3)	Peso del Molde (Kg)	Peso del Molde + Hormigón (Kg)	Peso del Hormigón (Kg)	Trabajabilidad	Asentamiento (cm)	Consistencia	Homogeneidad	Densidad (Kg/m3)	Densidad Media (Kg/m3)
FC 1	9,90	19,90	0,00153	7,710	11,170	3,46	Buena	6,00	Media	Buena	2258,72	2280,48
FC 2	9,90	19,90	0,00153	7,665	11,235	3,57					2330,53	
FC 3	9,90	19,90	0,00153	7,745	11,195	3,45					2252,19	
FC 4	9,90	19,90	0,00153	7,725	11,155	3,43	Buena	6,00	Media	Buena	2239,14	2253,28
FC 5	9,90	19,90	0,00153	7,715	11,180	3,47					2261,99	
FC 6	9,90	19,90	0,00153	7,715	11,175	3,46					2258,72	
FC 7	9,90	19,90	0,00153	7,725	11,195	3,47	Buena	6,00	Media	Buena	2265,25	2264,16
FC 8	9,90	19,90	0,00153	7,690	11,160	3,47					2265,25	
FC 9	9,90	19,90	0,00153	7,715	11,180	3,47					2261,99	
FC 10	9,90	19,90	0,00153	7,715	11,185	3,47	Buena	6,00	Media	Buena	2265,25	2253,28
FC 11	9,90	19,90	0,00153	7,710	11,175	3,47					2261,99	
FC 12	9,90	19,90	0,00153	7,705	11,125	3,42					2232,61	
FC 13	10,30	20,30	0,00169	4,707	8,505	3,80	Buena	6,00	Media	Buena	2245,40	2259,49
FC 14	10,00	20,00	0,00157	5,168	8,760	3,59					2286,74	
FC 15	9,90	19,90	0,00153	7,644	11,085	3,44					2246,32	

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema

Tomando en consideración las normativas NTE INEN 1578 y NTE INEN 1579 se logró determinar las propiedades del hormigón en estado fresco, entre las que destacan la consistencia y la densidad respectivamente, en este caso, las probetas con denominación “FC”, que tienen relación con los cilindros destinados a ser reforzados con la fibra de carbono luego de cumplir su periodo de tiempo en la cámara de curado para posteriormente ser ensayados, presentan los siguientes resultados de densidad y consistencia:

- Para las probetas FC 1, FC 2 y FC 3 el valor promedio de densidad alcanzado fue de 2280.48 Kg/m<sup>3</sup>, valor óptimo que supera los 2160 Kg/m<sup>3</sup> estipulados para el hormigón en la normativa ACI 318-19. El asentamiento fue de 6 cm y se ubica dentro del rango permitido de 8 cm ± 2.5 cm para una consistencia media.
- Por otra parte, en las probetas FC 4, FC 5 y FC 6 el valor medio de densidad obtenido fue de 2253.28 Kg/m<sup>3</sup>, valor que supera a 2160 Kg/m<sup>3</sup> determinado para el hormigón en la normativa ACI 318-19, lo que resulta óptimo. En consecuencia, se obtiene un asentamiento de 6 cm que se ubica dentro del rango permitido de 8 cm ± 2.5 cm para una consistencia media adecuada.
- En el caso de las probetas FC 7, FC 8 y FC 9 el resultado promedio de densidad logrado fue de 2264.16 Kg/m<sup>3</sup> y supera al valor de 2160 Kg/m<sup>3</sup> estipulado para el hormigón en la normativa ACI 318-19, lo que es óptimo. El asentamiento obtenido fue de 6 cm, que se sitúa dentro del rango permitido para una consistencia media de 8 cm ± 2.5 cm.
- En las probetas denominadas como FC 10, FC 11 y FC 12 la cantidad media de densidad obtenida fue de 2253.28 Kg/m<sup>3</sup>, cantidad que resulta óptima al superar los 2160 Kg/m<sup>3</sup> estipulados para el hormigón en la normativa ACI 318-19. También se debe tomar en cuenta que el asentamiento fue de 6 cm y se localiza dentro del rango permitido de 8 cm ± 2.5 cm de una consistencia media.
- En los cilindros FC 13, FC 14 y FC 15 el valor medio de densidad obtenido fue de 2259.49 Kg/m<sup>3</sup>, valor que supera favorablemente los 2160 Kg/m<sup>3</sup> determinados para el hormigón en la normativa ACI 318-19. El asentamiento fue de 6 cm y dado que se ubica dentro del rango permitido de 8 cm ± 2.5 cm se le atribuye una consistencia media adecuada.

### 3.1.3 Propiedades de los cilindros de hormigón en estado endurecido

**Tabla 39.** Densidad y resistencia a compresión del hormigón simple en estado endurecido a los 7 días de edad

Universidad Técnica de Ambato													
Facultad de ingeniería Civil y Mecánica													
Carrera de Ingeniería Civil													
Tema: "Comparación de la resistencia a compresión entre el hormigón simple y el hormigón reforzado con fibra de carbono"													
Ensayo a compresión del hormigón simple de F'c 210 Kg/cm <sup>2</sup> a los 7 días													
Ensayado por:		Carlos Alberto Tisalema Tasigchana											
Norma:		NTE INEN 1573 – ASTM C39											
Fecha de Ensayo:		17/Noviembre/2022					Fecha de elaboración:		9/Noviembre/2022				
Probeta	Diámetro de la probeta (cm)	Área de la probeta (cm <sup>2</sup> )	Altura de la probeta (cm)	Volumen de la probeta (m <sup>3</sup> )	Peso de la probeta (Kg)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Densidad Media (Kg/m <sup>3</sup> )	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia a Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a Compresión Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )		
HS 1	10,30	83,32	20,30	0,00169	3,823	2260,18	2246,00	120,53	12286,07	147,45	146,81		
HS 2	10,30	83,32	20,30	0,00169	3,799	2246,00		121,58	12393,37	148,74			
HS 3	10,30	83,32	20,30	0,00169	3,775	2231,81		117,89	12017,81	144,23			

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

En la tabla 39 se muestran los resultados de los ensayos de compresión y densidad que alcanzaron las probetas de hormigón simple a los 7 días de edad, en el caso de la densidad se obtuvo un valor promedio de 2246 Kg/m<sup>3</sup> que supera al valor de 2160 Kg/m<sup>3</sup> indicado en la normativa ACI 318-19, lo que es adecuado. La resistencia promedio a compresión de las probetas de hormigón simple fue de 146.81 Kg/cm<sup>2</sup> cuyo valor está dentro del rango esperado de entre 65 % y 75 % de la resistencia de diseño de 210 Kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días de edad, consiguiendo un 69.91 % de la resistencia de diseño.

**Tabla 40.** Densidad y resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido reforzado con fibras de carbono a los 7 días de edad

Universidad Técnica de Ambato													
Facultad de ingeniería Civil y Mecánica													
Carrera de Ingeniería Civil													
Tema: "Comparación de la resistencia a compresión entre el hormigón simple y el hormigón reforzado con fibra de carbono"													
Ensayo a compresión del hormigón de F'c 210 Kg/cm <sup>2</sup> reforzado con fibra de carbono a los 7 días													
Ensayado por:		Carlos Alberto Tisalema Tasigchana											
Norma:		NTE INEN 1573 – ASTM C39											
Fecha de Ensayo:		17/Noviembre/2022					Fecha de elaboración:		9/Noviembre/2022				
Probeta	Diámetro de la probeta (cm)	Área de la probeta (cm <sup>2</sup> )	Altura de la probeta (cm)	Volumen de la probeta (m <sup>3</sup> )	Peso de la probeta (Kg)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Densidad Media (Kg/m <sup>3</sup> )	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia a Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a Compresión Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )		
FC 1	9,90	76,98	19,90	0,00153	3,488	2277,00	2278,52	127,95	13042,55	169,43	170,46		
FC 2	9,90	76,98	19,90	0,00153	3,494	2280,92		133,74	13632,71	177,10			
FC 3	9,90	76,98	19,90	0,00153	3,489	2277,65		124,47	12688,45	164,83			

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

Como se observa en la tabla 40, se pueden notar los resultados de los ensayos de compresión y densidad que alcanzaron las probetas de hormigón reforzado con fibras de carbono a los 7 días de edad, en el caso de la densidad el valor medio fue de 2278.52 Kg/m<sup>3</sup> que es superior de forma óptima al valor de 2160 Kg/m<sup>3</sup> indicado en la normativa ACI 318-19. Por otra parte, la resistencia promedio a compresión de las probetas de hormigón reforzado con fibras de carbono fue de 170.46 Kg/cm<sup>2</sup> cuya cantidad es superior favorablemente al rango esperado de entre 65 % y 75 % de la resistencia de diseño de 210 Kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días de edad, consiguiendo un 81.17 % de la resistencia de diseño, lo que es favorable.

**Tabla 41.** Densidad y resistencia a compresión del hormigón simple en estado endurecido a los 14 días de edad

Universidad Técnica de Ambato												
Facultad de ingeniería Civil y Mecánica												
Carrera de Ingeniería Civil												
Tema: "Comparación de la resistencia a compresión entre el hormigón simple y el hormigón reforzado con fibra de carbono"												
Ensayo a compresión del hormigón simple de F'c 210 Kg/cm <sup>2</sup> a los 14 días												
Ensayado por:		Carlos Alberto Tisalema Tasigchana										
Norma:		NTE INEN 1573 – ASTM C39										
Fecha de Ensayo:		24/Noviembre/2022					Fecha de elaboración:		9/Noviembre/2022			
Probeta	Diámetro de la probeta (cm)	Área de la probeta (cm <sup>2</sup> )	Altura de la probeta (cm)	Volumen de la probeta (m <sup>3</sup> )	Peso de la probeta (Kg)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Densidad Media (Kg/m <sup>3</sup> )	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia a Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a Compresión Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	
HS 4	10,30	83,32	20,30	0,00169	3,840	2270,24	2270,43	141,67	14441,05	173,31	172,86	
HS 5	10,30	83,32	20,30	0,00169	3,832	2265,51		140,56	14327,78	171,95		
HS 6	10,30	83,32	20,30	0,00169	3,849	2275,56		141,67	14441,05	173,31		

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

Se muestra en la tabla 41 los resultados de los ensayos de compresión y densidad que obtuvieron las probetas de hormigón simple a los 14 días de edad, en el caso de la densidad se obtuvo un valor medio adecuado de 2270.43 Kg/m<sup>3</sup> que supera al valor de 2160 Kg/m<sup>3</sup> indicado en la normativa ACI 318-19. La resistencia promedio a compresión de las probetas de hormigón simple fue de 172.86 Kg/cm<sup>2</sup> cuyo valor se sitúa dentro del rango esperado de entre 80 % y 90 % de la resistencia de diseño de 210 Kg/cm<sup>2</sup> a los 14 días de edad, consiguiendo un porcentaje adecuado de 82.31 % de la resistencia de diseño.

**Tabla 42.** Densidad y resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido reforzado con fibras de carbono a los 14 días de edad

Universidad Técnica de Ambato												
Facultad de ingeniería Civil y Mecánica												
Carrera de Ingeniería Civil												
Tema: "Comparación de la resistencia a compresión entre el hormigón simple y el hormigón reforzado con fibra de carbono"												
Ensayo a compresión del hormigón de F'c 210 Kg/cm <sup>2</sup> reforzado con fibra de carbono a los 14 días												
Ensayado por:		Carlos Alberto Tisalema Tasigchana										
Norma:		NTE INEN 1573 – ASTM C39										
Fecha de Ensayo:		24/Noviembre/2022					Fecha de elaboración:		9/Noviembre/2022			
Probeta	Diámetro de la probeta (cm)	Área de la probeta (cm <sup>2</sup> )	Altura de la probeta (cm)	Volumen de la probeta (m <sup>3</sup> )	Peso de la probeta (Kg)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Densidad Media (Kg/m <sup>3</sup> )	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia a Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a Compresión Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	
FC 4	9,90	76,98	19,90	0,00153	3,463	2260,68	2266,77	154,61	15760,56	204,74	202,32	
FC 5	9,90	76,98	19,90	0,00153	3,491	2278,96		151,56	15449,09	200,70		
FC 6	9,90	76,98	19,90	0,00153	3,463	2260,68		152,17	15511,38	201,51		

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

En la tabla 42 se exponen los resultados de los ensayos de compresión y densidad que consiguieron las probetas de hormigón reforzado con fibras de carbono a la edad de 14 días, la densidad promedio que se obtuvo fue de 2266.77 Kg/m<sup>3</sup> cuya cantidad es superior al valor de 2160 Kg/m<sup>3</sup> indicado en la normativa ACI 318-19, y la resistencia promedio a compresión de las probetas de hormigón reforzado con fibras de carbono fue de 202.32 Kg/cm<sup>2</sup> cuyo resultado supera de forma favorable el rango esperado de entre 80 % y 90 % de la resistencia de diseño de 210 Kg/cm<sup>2</sup> a los 14 días de edad, consiguiendo un 96.34 % de la resistencia de diseño.

**Tabla 43.** Densidad y resistencia a compresión del hormigón simple en estado endurecido a los 21 días de edad

Universidad Técnica de Ambato												
Facultad de ingeniería Civil y Mecánica												
Carrera de Ingeniería Civil												
Tema: "Comparación de la resistencia a compresión entre el hormigón simple y el hormigón reforzado con fibra de carbono"												
Ensayo a compresión del hormigón simple de F'c 210 Kg/cm <sup>2</sup> a los 21 días												
Ensayado por:		Carlos Alberto Tisalema Tasigchana										
Norma:		NTE INEN 1573 – ASTM C39										
Fecha de Ensayo:		01/Diciembre/2022					Fecha de elaboración:		9/Noviembre/2022			
Probeta	Diámetro de la probeta (cm)	Área de la probeta (cm <sup>2</sup> )	Altura de la probeta (cm)	Volumen de la probeta (m <sup>3</sup> )	Peso de la probeta (Kg)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Densidad Media (Kg/m <sup>3</sup> )	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia a Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a Compresión Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	
HS 7	10,30	83,32	20,30	0,00169	3,815	2255,46	2261,37	157,65	16070,04	192,86	196,70	
HS 8	10,30	83,32	20,30	0,00169	3,848	2274,96		160,59	16369,85	196,46		
HS 9	10,30	83,32	20,30	0,00169	3,812	2253,68		164,12	16729,63	200,78		

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

En la tabla 43 se presentan los resultados de los ensayos de compresión y densidad que lograron las probetas de hormigón simple a los 21 días de edad, en el caso de la densidad se logró un valor promedio de 2261.37 Kg/m<sup>3</sup> que supera adecuadamente al valor de 2160 Kg/m<sup>3</sup> indicado en la normativa ACI 318-19. La resistencia promedio a compresión de las probetas de hormigón simple fue de 196.70 Kg/cm<sup>2</sup> cuyo valor se localiza dentro del rango esperado de entre 90 % y 100 % de la resistencia de diseño de 210 Kg/cm<sup>2</sup> a la edad de 21 días, alcanzando un 93.67 % de la resistencia de diseño.

**Tabla 44.** Densidad y resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido reforzado con fibras de carbono a los 21 días de edad

Universidad Técnica de Ambato												
Facultad de ingeniería Civil y Mecánica												
Carrera de Ingeniería Civil												
Tema: "Comparación de la resistencia a compresión entre el hormigón simple y el hormigón reforzado con fibra de carbono"												
Ensayo a compresión del hormigón de F'c 210 Kg/cm <sup>2</sup> reforzado con fibra de carbono a los 21 días												
Ensayado por:		Carlos Alberto Tisalema Tasigchana										
Norma:		NTE INEN 1573 – ASTM C39										
Fecha de Ensayo:		01/Diciembre/2022					Fecha de elaboración:		9/Noviembre/2022			
Probeta	Diámetro de la probeta (cm)	Área de la probeta (cm <sup>2</sup> )	Altura de la probeta (cm)	Volumen de la probeta (m <sup>3</sup> )	Peso de la probeta (Kg)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Densidad Media (Kg/m <sup>3</sup> )	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia a Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a Compresión Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	
FC 7	9,90	76,98	19,90	0,00153	3,486	2275,69	2273,74	169,94	17323,26	225,04	231,99	
FC 8	9,90	76,98	19,90	0,00153	3,484	2274,39		179,38	18285,66	237,55		
FC 9	9,90	76,98	19,90	0,00153	3,479	2271,13		176,24	17964,86	233,38		

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

La tabla 44 muestra los resultados de los ensayos de compresión y densidad que consiguieron las probetas de hormigón reforzado con fibras de carbono a la edad de 21 días, en el caso de la densidad se obtuvo un valor medio de 2273.74 Kg/m<sup>3</sup> que es superior de forma óptima al valor de 2160 Kg/m<sup>3</sup> indicado en la normativa ACI 318-19. La resistencia promedio a compresión de las probetas de hormigón reforzado con fibras de carbono fue de 231.99 Kg/cm<sup>2</sup> cuyo resultado supera favorablemente el rango esperado de entre 90 % y 100 % de la resistencia de diseño de 210 Kg/cm<sup>2</sup> a los 21 días de edad, alcanzando un 110.47 % de la resistencia de diseño.

**Tabla 45.** Densidad y resistencia a compresión del hormigón simple en estado endurecido a los 28 días de edad

Universidad Técnica de Ambato												
Facultad de ingeniería Civil y Mecánica												
Carrera de Ingeniería Civil												
Tema: "Comparación de la resistencia a compresión entre el hormigón simple y el hormigón reforzado con fibra de carbono"												
Ensayo a compresión del hormigón simple de F'c 210 Kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días												
Ensayado por:		Carlos Alberto Tisalema Tasigchana										
Norma:		NTE INEN 1573 – ASTM C39										
Fecha de Ensayo:		08/Diciembre/2022					Fecha de elaboración:		9/Noviembre/2022			
Probeta	Diámetro de la probeta (cm)	Área de la probeta (cm <sup>2</sup> )	Altura de la probeta (cm)	Volumen de la probeta (m <sup>3</sup> )	Peso de la probeta (Kg)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Densidad Media (Kg/m <sup>3</sup> )	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia a Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a Compresión Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	
HS 10	10,30	83,32	20,30	0,00169	3,830	2264,32	2262,33	180,00	18348,62	220,21	222,26	
HS 11	9,90	76,98	19,90	0,00153	3,462	2260,03		167,88	17113,48	222,32		
HS 12	9,90	76,98	19,90	0,00153	3,466	2262,64		169,33	17261,30	224,24		

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

La tabla 45 revela los resultados de los ensayos de compresión y densidad que obtuvieron los cilindros de hormigón simple a la edad de 28 días de curado, en el caso de la densidad se obtuvo un valor promedio de 2262.33 Kg/m<sup>3</sup> que supera adecuadamente al valor de 2160 Kg/m<sup>3</sup> indicado en la normativa ACI 318-19. Por otra parte, la resistencia promedio a compresión de las probetas de hormigón simple fue de 222.26 Kg/cm<sup>2</sup> cuyo valor es superior al rango esperado de entre 95 % y 105 % de la resistencia de diseño de 210 Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de edad, alcanzando un 105.84 % de la resistencia de diseño.

**Tabla 46.** Densidad y resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido reforzado con fibras de carbono a los 28 días de edad

Universidad Técnica de Ambato												
Facultad de ingeniería Civil y Mecánica												
Carrera de Ingeniería Civil												
Tema: "Comparación de la resistencia a compresión entre el hormigón simple y el hormigón reforzado con fibra de carbono"												
Ensayo a compresión del hormigón de F'c 210 Kg/cm <sup>2</sup> reforzado con fibra de carbono a los 28 días												
Ensayado por:		Carlos Alberto Tisalema Tasigchana										
Norma:		NTE INEN 1573 – ASTM C39										
Fecha de Ensayo:		08/Diciembre/2022					Fecha de elaboración:		9/Noviembre/2022			
Probeta	Diámetro de la probeta (cm)	Área de la probeta (cm <sup>2</sup> )	Altura de la probeta (cm)	Volumen de la probeta (m <sup>3</sup> )	Peso de la probeta (Kg)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Densidad Media (Kg/m <sup>3</sup> )	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia a Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a Compresión Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	
FC 10	9,90	76,98	19,90	0,00153	3,473	2267,21	2258,72	204,73	20869,18	271,11	262,29	
FC 11	9,90	76,98	19,90	0,00153	3,471	2265,90		199,02	20287,46	263,55		
FC 12	9,90	76,98	19,90	0,00153	3,436	2243,05		190,46	19414,88	252,22		

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

La tabla 46 expone los resultados de los ensayos de compresión y densidad que lograron los cilindros de hormigón reforzado con fibras de carbono a la edad de 28 días de curado, en el caso de la densidad se obtuvo un valor promedio de 2258.72 Kg/m<sup>3</sup> que es superior de forma adecuada al valor de 2160 Kg/m<sup>3</sup> indicado en la normativa ACI 318-19. Por otro lado, la resistencia promedio a compresión de las probetas de hormigón reforzado con fibras de carbono fue de 262.29 Kg/cm<sup>2</sup> cuyo valor supera de forma favorable el rango esperado de entre 95 % y 105 % de la resistencia de diseño de 210 Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de edad, consiguiendo un 124,90 % de la resistencia de diseño.

**Tabla 47.** Densidad y resistencia a compresión del hormigón simple en estado endurecido a los 28 días de edad (14 días en cámara de curado y 14 días expuesto a agua con sal)

Universidad Técnica de Ambato											
Facultad de ingeniería Civil y Mecánica											
Carrera de Ingeniería Civil											
Tema: "Comparación de la resistencia a compresión entre el hormigón simple y el hormigón reforzado con fibra de carbono"											
Ensayo a compresión del hormigón simple de F'c 210 Kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días (14 en cámara de curado y 14 en agua con sal)											
Ensayado por:		Carlos Alberto Tisalema Tasigchana									
Norma:		NTE INEN 1573 – ASTM C39									
Fecha de Ensayo:		08/Diciembre/2022					Fecha de elaboración:		9/Noviembre/2022		
Probeta	Diámetro de la probeta (cm)	Área de la probeta (cm <sup>2</sup> )	Altura de la probeta (cm)	Volumen de la probeta (m <sup>3</sup> )	Peso de la probeta (Kg)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Densidad Media (Kg/m <sup>3</sup> )	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia a Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a Compresión Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )
HS 13	9,90	76,98	19,90	0,00153	3,445	2248,93	2237,61	162,18	16532,06	214,77	217,03
HS 14	9,90	76,98	19,90	0,00153	3,425	2235,87		165,38	16858,78	219,01	
HS 15	9,90	76,98	19,90	0,00153	3,413	2228,04		164,10	16728,09	217,31	

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

En la tabla 47 se presentan los resultados de los ensayos de compresión y densidad que alcanzaron las probetas de hormigón simple a los 28 días de edad con 14 días de ellos expuestos a agua con sal, en este caso, la densidad obtuvo un valor promedio de 2237.61 Kg/m<sup>3</sup> que supera adecuadamente al valor de 2160 Kg/m<sup>3</sup> indicado en la normativa ACI 318-19. Por otra parte, la resistencia promedio a compresión de las probetas de hormigón simple fue de 217.03 Kg/cm<sup>2</sup> cuyo valor se encuentra dentro del rango esperado de entre 95 % y 105 % de la resistencia de diseño de 210 Kg/cm<sup>2</sup> a la edad de 28 días de curado, logrando un 103.35 % de la resistencia de diseño.

**Tabla 48.** Densidad y resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido reforzado con fibras de carbono a los 28 días de edad (14 días en cámara de curado y 14 días expuesto a agua con sal)

Universidad Técnica de Ambato												
Facultad de ingeniería Civil y Mecánica												
Carrera de Ingeniería Civil												
Tema: "Comparación de la resistencia a compresión entre el hormigón simple y el hormigón reforzado con fibra de carbono"												
Ensayo a compresión del hormigón de F'c 210 Kg/cm <sup>2</sup> reforzado con fibra de carbono a los 28 días (14 en cámara de curado y 14 en agua con sal)												
Ensayado por:		Carlos Alberto Tisalema Tasigchana										
Norma:		NTE INEN 1573 – ASTM C39										
Fecha de Ensayo:		08/Diciembre/2022					Fecha de elaboración:		9/Noviembre/2022			
Probeta	Diámetro de la probeta (cm)	Área de la probeta (cm <sup>2</sup> )	Altura de la probeta (cm)	Volumen de la probeta (m <sup>3</sup> )	Peso de la probeta (Kg)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Densidad Media (Kg/m <sup>3</sup> )	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia a Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a Compresión Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	
FC 13	10,30	83,32	20,30	0,00169	3,811	2253,09	2264,02	206,26	21025,14	252,33	255,98	
FC 14	10,00	78,54	20,00	0,00157	3,590	2285,46		197,49	20131,26	256,32		
FC 15	9,90	76,98	19,90	0,00153	3,452	2253,50		195,80	19959,50	259,29		

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

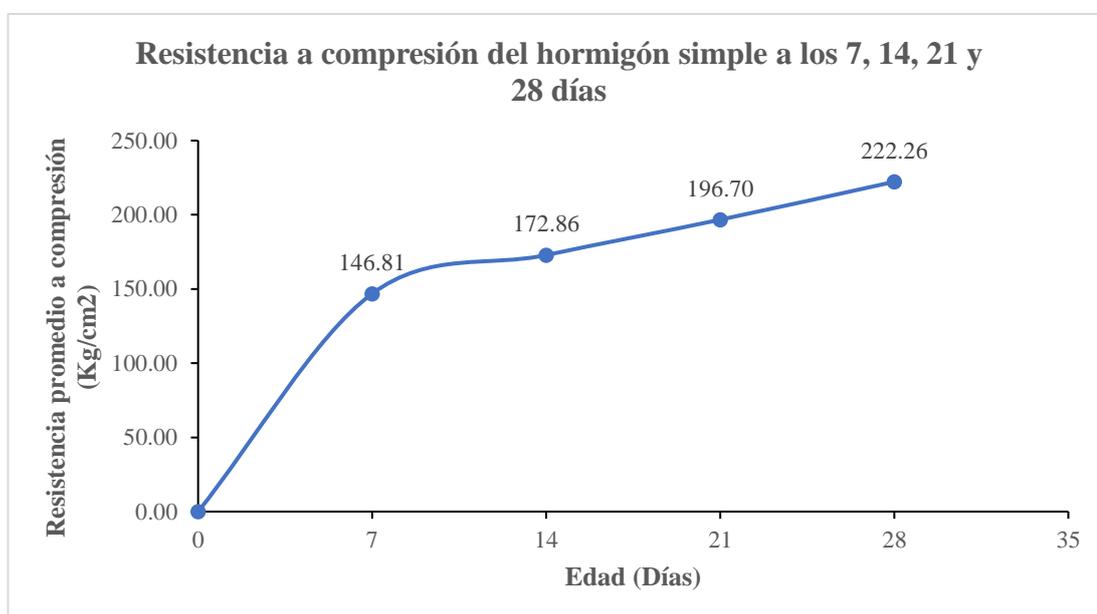
En la tabla 48 se localizan los resultados de los ensayos de compresión y densidad que consiguieron las probetas de hormigón reforzado con fibras de carbono a la edad de 28 días con 14 días de ellos expuestos a agua con sal, en el caso de la densidad se obtuvo un valor promedio de 2264.02 Kg/m<sup>3</sup> que supera de forma adecuada al valor de 2160 Kg/m<sup>3</sup> indicado en la normativa ACI 318-19. Por otro lado, la resistencia promedio a compresión de las probetas de hormigón reforzado con fibras de carbono fue de 255.98 Kg/cm<sup>2</sup> cuyo valor es superior al rango esperado de entre 95 % y 105 % de la resistencia de diseño de 210 Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de edad, obteniendo favorablemente un 121,90 % de la resistencia de diseño.

**Tabla 49.** Resistencias a compresión promedio del hormigón simple

<b>Hormigón Simple</b>	
<b>Edad (Días)</b>	<b>Resistencia promedio a compresión (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
7	146,81
14	172,86
21	196,70
28	222,26

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

**Gráfica 4.** Resistencia a compresión promedio del hormigón simple a los 7, 14, 21 y 28 días



Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

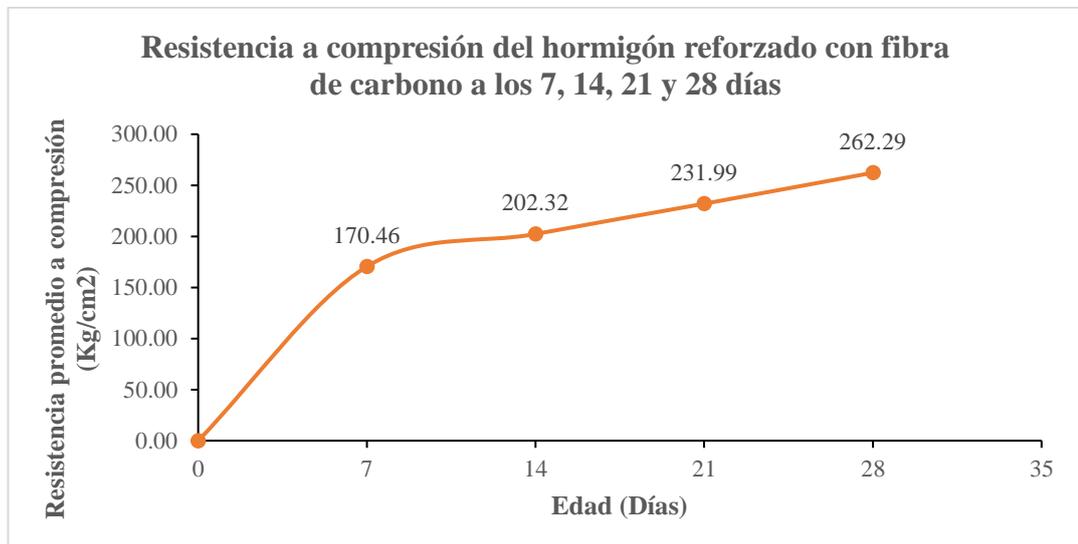
Mediante la tabla 49 y la gráfica 4 se muestran los resultados promedios que se obtuvieron al aplicar la normativa NTE INEN 1573 para determinar la resistencia a compresión de cilindros de hormigón simple, en este caso para hallar la resistencia promedio del concreto se utilizaron tres cilindros del tipo de hormigón que se necesita experimentar a las edades de 7, 14, 21 y 28 días cada una. Los resultados que se alcanzaron fueron 146.81 Kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días, 172.86 Kg/cm<sup>2</sup> a los 14 días, 196.70 Kg/cm<sup>2</sup> a los 21 días y 222.26 Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de edad. Como se evidencia en la gráfica, la resistencia a compresión incrementa a medida que el tiempo de curado también aumenta, en este caso a los 28 días de edad el concreto es superior en 5.84 % a la resistencia de diseño.

**Tabla 50.** Resistencias a compresión promedio del hormigón reforzado con fibras de carbono

<b>Hormigón reforzado con Fibra de Carbono</b>	
<b>Edad (Días)</b>	<b>Resistencia promedio a compresión (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
7	170,46
14	202,32
21	231,99
28	262,29

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

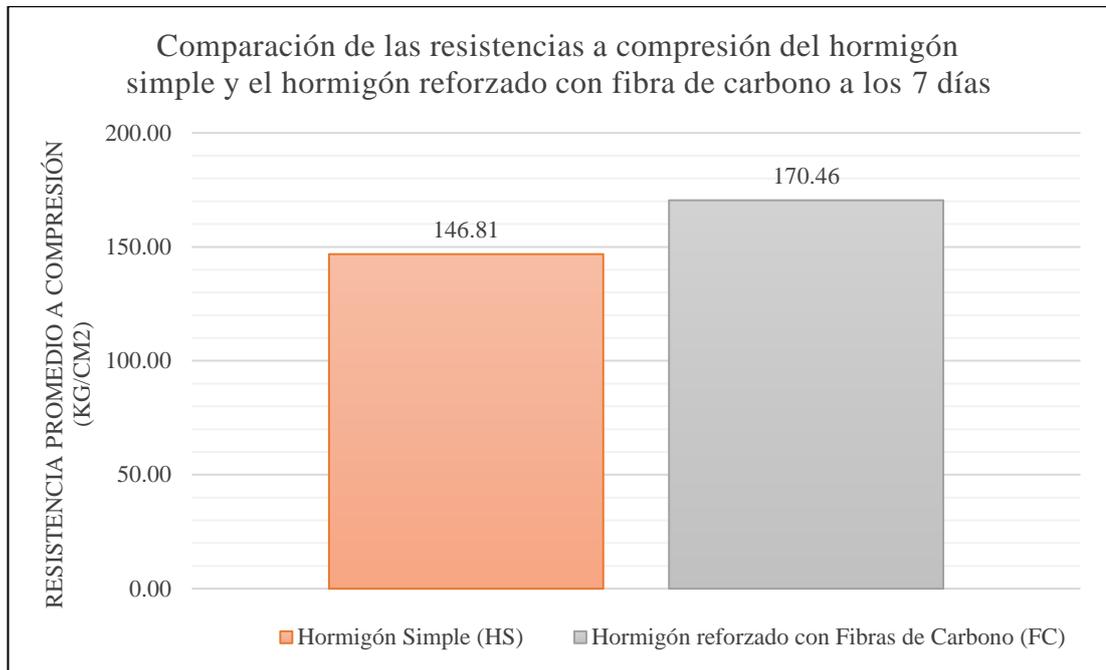
**Gráfica 5.** Resistencia a compresión promedio del hormigón reforzado con fibras de carbono a los 7, 14, 21 y 28 días



Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

Por otra parte, en la tabla 50 y en la gráfica 5 se muestran los resultados promedios que se consiguieron al aplicar la normativa NTE INEN 1573 para determinar la resistencia a compresión de cilindros de hormigón reforzado con fibra de carbono, en este caso para encontrar la resistencia promedio del concreto se usaron tres probetas del tipo de hormigón que se necesita experimentar a las edades de 7, 14, 21 y 28 días cada una. Los resultados que se obtuvieron fueron 170.46 Kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días, 202.32 Kg/cm<sup>2</sup> a los 14 días, 231.99 Kg/cm<sup>2</sup> a los 21 días y 262.29 Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de edad. Como se expone en la gráfica, la resistencia a compresión aumenta a medida que el tiempo de curado también incrementa, en este caso a la edad de 28 días el concreto obtiene una resistencia superior en 24.9 % a la resistencia de diseño.

**Gráfica 6.** Comparativo de las resistencias a compresión del hormigón simple y el hormigón reforzado con fibras de carbono a los 7 días de edad

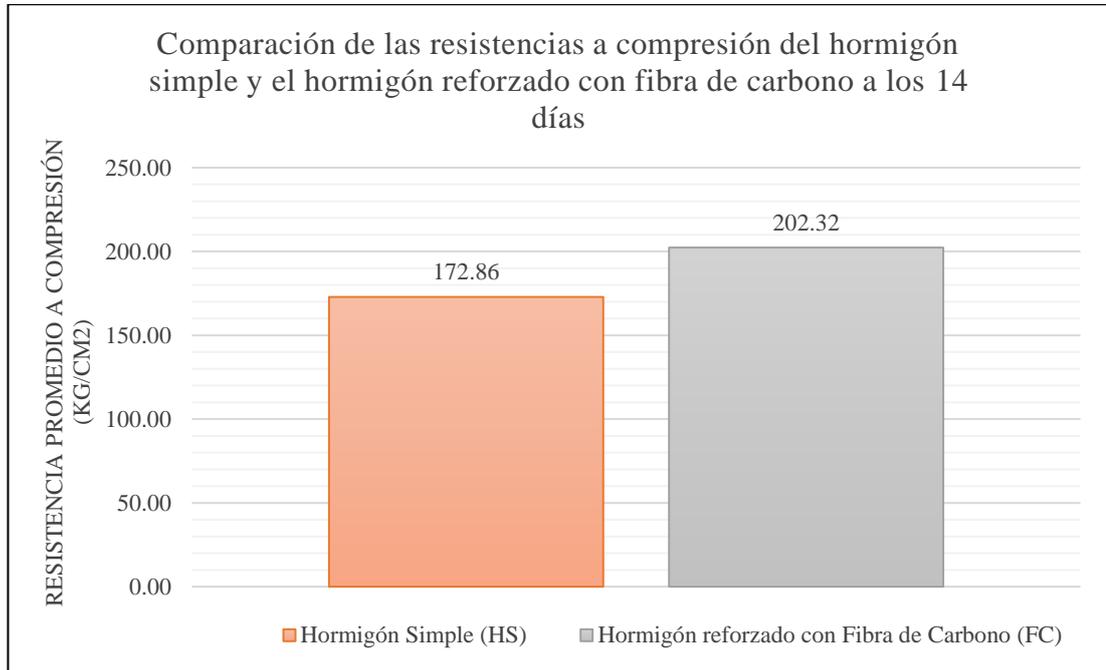


Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

En la gráfica 6 se exponen los resultados promedios de la resistencia a compresión del hormigón simple ( 146.81 Kg/cm<sup>2</sup> ) y también del hormigón reforzado con fibras de carbono ( 170.46 Kg/cm<sup>2</sup> ) que se obtuvieron a los 7 días de edad, en donde se evidencia que la resistencia del hormigón reforzado con fibra de carbono es superior al valor de resistencia del hormigón simple, esta diferencia fue del 16.11 %.

Al momento de analizar el rango esperado a los 7 días de edad del 65 % al 75 % de la resistencia de diseño de 210 Kg/cm<sup>2</sup> cuyos valores son de 136.5 Kg/cm<sup>2</sup> equivalente al 65 % y 157.5 Kg/cm<sup>2</sup> equivalente al 75 %, se puede mencionar que al comparar tales valores con los resultados del trabajo experimental se puede distinguir que la resistencia de 146.81 Kg/cm<sup>2</sup> está dentro de tal rango y que a su vez la resistencia de 170.46 Kg/cm<sup>2</sup> supera el rango esperado de forma favorable.

**Gráfica 7.** Comparativo de las resistencias a compresión del hormigón simple y el hormigón reforzado con fibras de carbono a los 14 días de edad

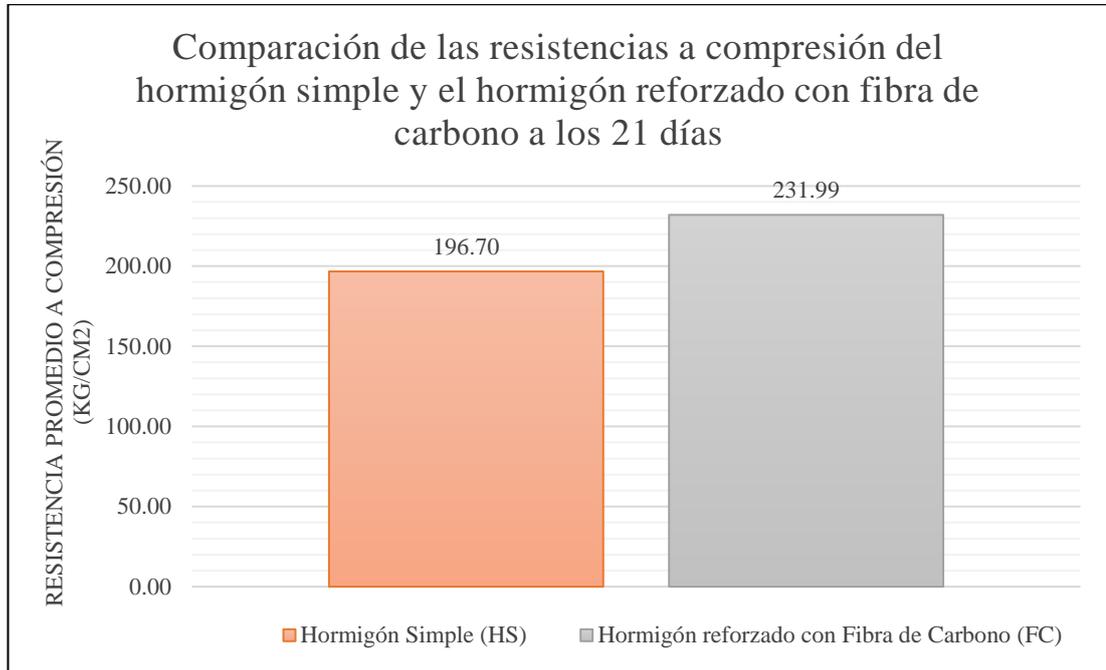


Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

En la gráfica 7 se revelan los resultados promedios de la resistencia a compresión del hormigón simple ( 172.86 Kg/cm<sup>2</sup> ) y también del hormigón reforzado con fibras de carbono ( 202.32 Kg/cm<sup>2</sup> ) que se lograron a los 14 días de edad, en donde se evidencia que la resistencia del hormigón reforzado con fibra de carbono supera al valor de resistencia del hormigón simple, esta diferencia fue del 17.04 %.

Al momento de considerar el rango previsto del 80 % al 90 % de la resistencia de diseño de 210 Kg/cm<sup>2</sup> a la edad de 14 días, cuyos valores son de 168 Kg/cm<sup>2</sup> equivalente al 80 % y 189 Kg/cm<sup>2</sup> equivalente al 90 %, se puede indicar que al contrastar tales valores con los resultados del trabajo experimental se logra distinguir que la resistencia de 172.86 Kg/cm<sup>2</sup> se sitúa dentro de tal rango y que a su vez la resistencia de 202.32 Kg/cm<sup>2</sup> supera favorablemente el rango esperado.

**Gráfica 8.** Comparativo de las resistencias a compresión del hormigón simple y el hormigón reforzado con fibras de carbono a los 21 días de edad

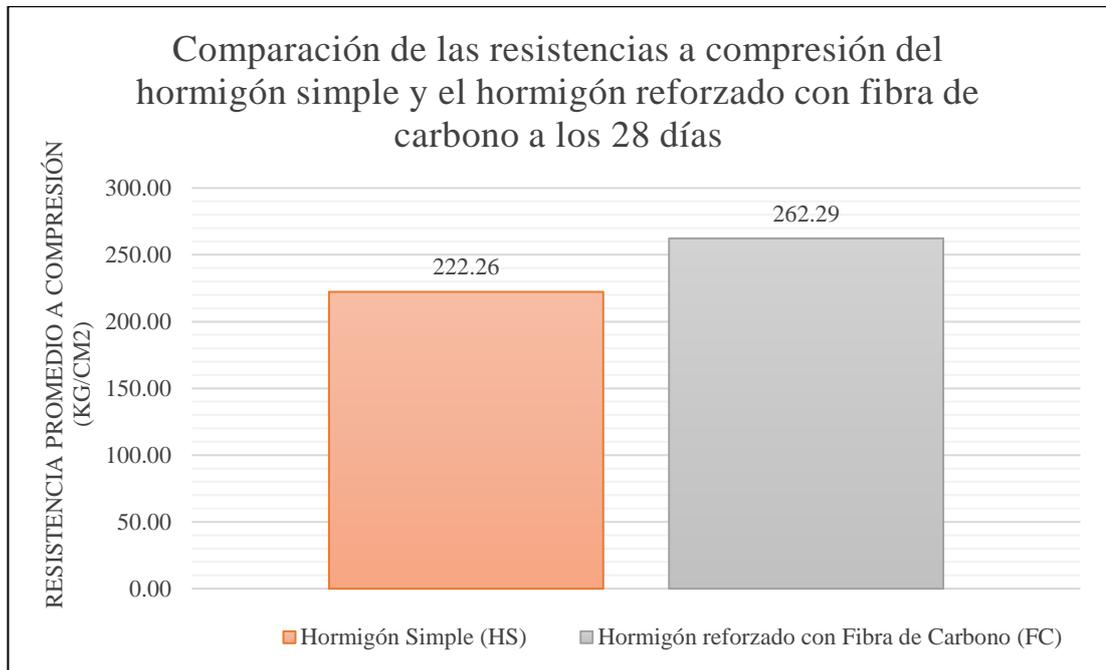


Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

Se muestra en la gráfica 8 los resultados promedios de la resistencia a compresión del hormigón simple y el hormigón reforzado con fibras de carbono que se consiguieron a los 21 días de edad, cuyos valores fueron de 196.70 Kg/cm<sup>2</sup> para el tipo de hormigón simple y 231.99 Kg/cm<sup>2</sup> para el hormigón reforzado, en donde se evidencia que la resistencia del hormigón reforzado con fibra de carbono es superior al valor de resistencia del hormigón simple, esta diferencia representa una tasa de 17.94 %.

Por otra parte, al analizar el rango a los 21 días de edad del 90 % al 100 % de la resistencia de diseño de 210 Kg/cm<sup>2</sup> cuyos valores son de 189 Kg/cm<sup>2</sup> equivalente al 90 % y 210 Kg/cm<sup>2</sup> equivalente al 100 %, se puede decir que al comparar tales valores con los resultados del trabajo experimental se consigue distinguir que la resistencia de 196.70 Kg/cm<sup>2</sup> se localiza dentro del rango y que a su vez la resistencia de 231.99 Kg/cm<sup>2</sup> es superior de forma favorable al rango esperado.

**Gráfica 9.** Comparativo de las resistencias a compresión del hormigón simple y el hormigón reforzado con fibras de carbono a los 28 días de edad

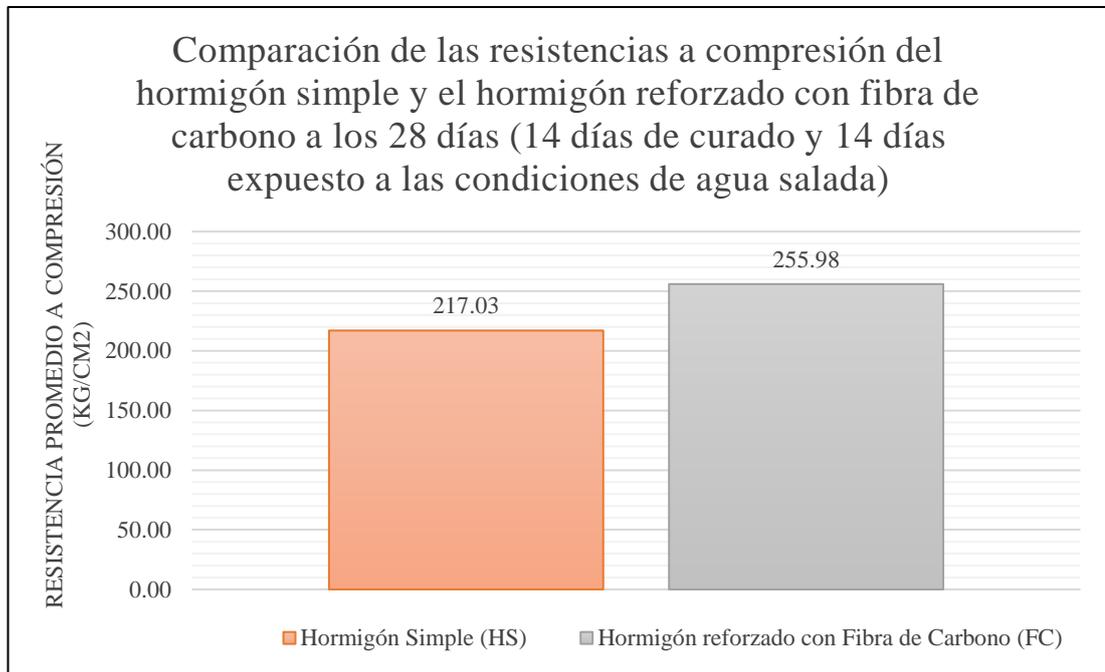


Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

Se evidencia en la gráfica 9 los resultados promedios de la resistencia a compresión del hormigón simple y el hormigón reforzado con fibras de carbono que se obtuvieron a la edad de 28 días, cuyos resultados fueron de 222.26 Kg/cm<sup>2</sup> para el tipo de hormigón simple y 262.29 Kg/cm<sup>2</sup> para el hormigón reforzado, en donde se muestra que la resistencia del hormigón reforzado con fibra de carbono supera al valor de resistencia del hormigón simple, esta diferencia representa una tasa de 18.01 %.

Por otro lado, al considerar el rango esperado del 95 % al 105 % de la resistencia de diseño de 210 Kg/cm<sup>2</sup> a la edad de 28 días, cuyos valores son de 199.5 Kg/cm<sup>2</sup> equivalente al 95 % y 220.5 Kg/cm<sup>2</sup> equivalente al 105 %, se puede decir que al contrastar tales valores con los resultados del trabajo experimental se logra distinguir que la resistencia de 222.26 Kg/cm<sup>2</sup> supera tal rango y que a su vez la resistencia de 262.29 Kg/cm<sup>2</sup> también supera el rango esperado.

**Gráfica 10.** Comparativo de las resistencias a compresión del hormigón simple y el hormigón reforzado con fibras de carbono a los 28 días de edad (14 días en la cámara de curado y 14 días en agua con sal)

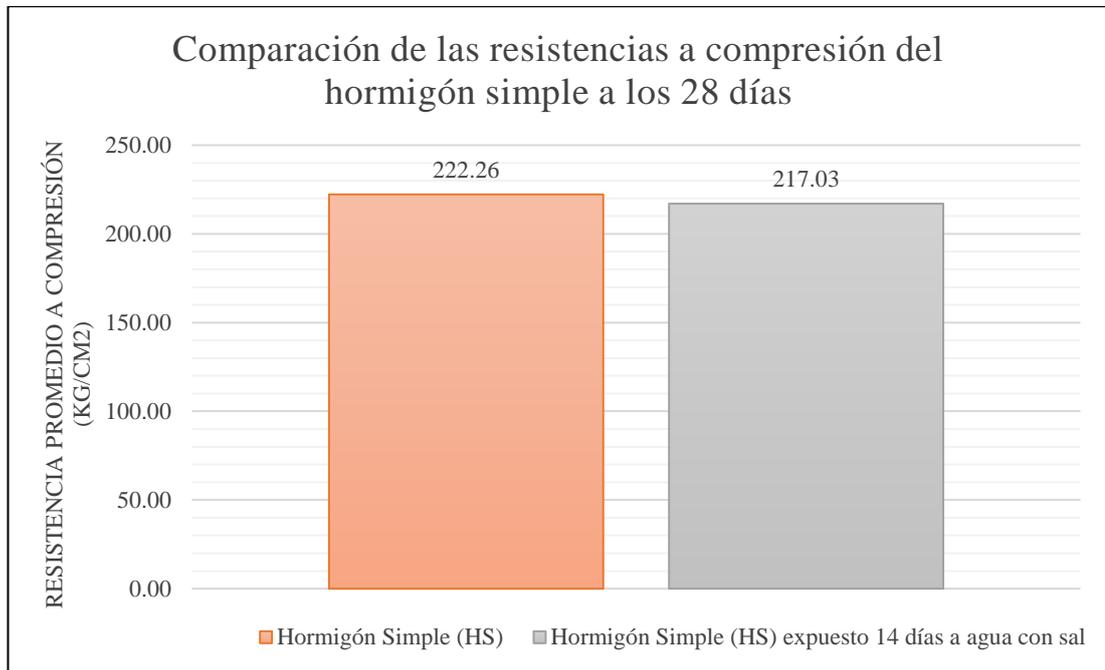


Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

La gráfica 10 muestra los resultados promedios de la resistencia a compresión del hormigón simple y el hormigón reforzado con fibras de carbono que se lograron a los 28 días de edad con la observación de que el concreto estuvo expuesto 14 días a la cámara de curado y 14 días a agua con sal, y los resultados fueron de 217.03 Kg/cm<sup>2</sup> para el tipo de hormigón simple y 255.98 Kg/cm<sup>2</sup> para el hormigón reforzado. Se evidencia que la resistencia del hormigón reforzado con fibra de carbono es superior al valor de resistencia del hormigón simple, esta diferencia representa un valor porcentual de 17.95 %.

Al analizar el rango deseable a los 28 días de edad del 95 % al 105 % de la resistencia de diseño de 210 Kg/cm<sup>2</sup> cuyas cantidades son de 199.5 Kg/cm<sup>2</sup> equivalente al 95 % y 220.5 Kg/cm<sup>2</sup> equivalente al 105 %, se puede verificar que al contrastar tales valores con los resultados del trabajo experimental se distingue que la resistencia promedio de 217.03 Kg/cm<sup>2</sup> se localiza dentro de tal rango y que a su vez la resistencia de 255.98 Kg/cm<sup>2</sup> supera el rango esperado.

**Gráfica 11.** Comparativo de las resistencias a compresión del hormigón simple a los 28 días de edad

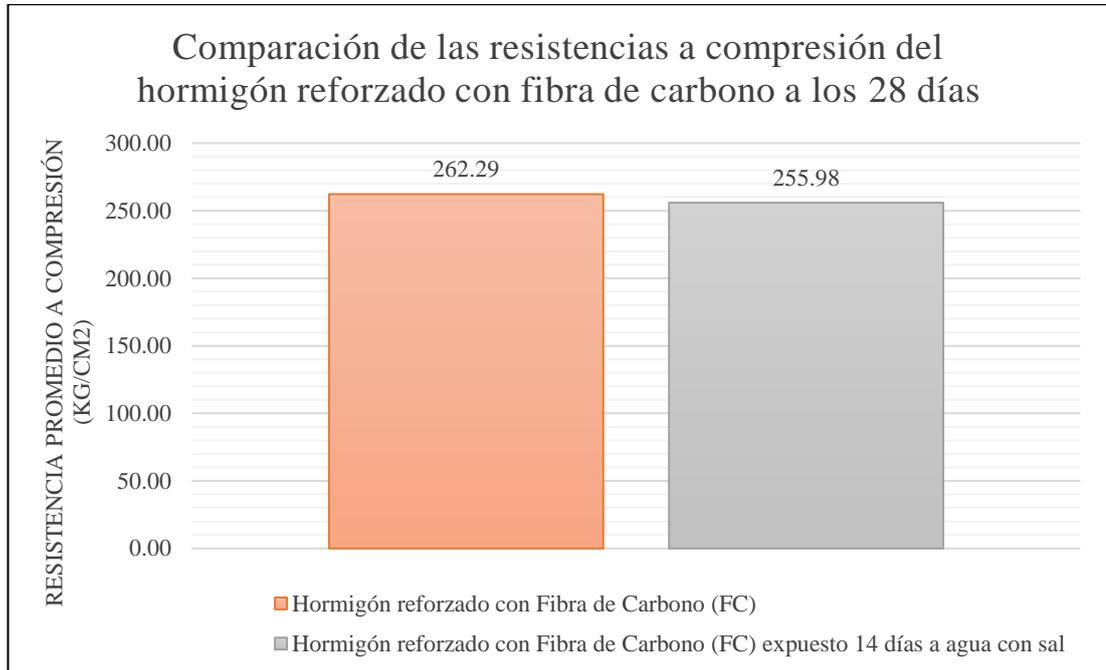


Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

La gráfica 11 presenta los resultados promedios de la resistencia a compresión del hormigón simple que se obtuvieron a los 28 días de edad con la observación de que un tipo de hormigón simple estuvo expuesto 14 días a la cámara de curado y 14 días a agua con sal, y los resultados fueron de 222.26 Kg/cm<sup>2</sup> para el tipo de hormigón expuesto 28 días a la cámara de curado y 217.03 Kg/cm<sup>2</sup> para el hormigón expuesto 14 días a la cámara de curado y 14 días a agua con sal. Se evidencia que la resistencia del hormigón simple con 28 días de edad expuesto 28 días a la cámara de curado es superior al valor de resistencia del hormigón simple a los 28 días de edad expuesto 14 días a la cámara de curado y 14 días a agua con sal, esta diferencia representa un valor porcentual de 2.35 %.

Al considerar el rango deseado a los 28 días de edad del 95 % al 105 % de la resistencia de diseño de 210 Kg/cm<sup>2</sup> cuyos valores son de 199.5 Kg/cm<sup>2</sup> equivalente al 95 % y 220.5 Kg/cm<sup>2</sup> equivalente al 105 %, se puede verificar que al contrastar tales valores con los resultados del trabajo experimental se distingue que la resistencia de 222.26 Kg/cm<sup>2</sup> supera tal rango y que a su vez la resistencia de 217.03 Kg/cm<sup>2</sup> se encuentra dentro del rango esperado.

**Gráfica 12.** Comparativo de las resistencias a compresión del hormigón reforzado con fibras de carbono a los 28 días de edad

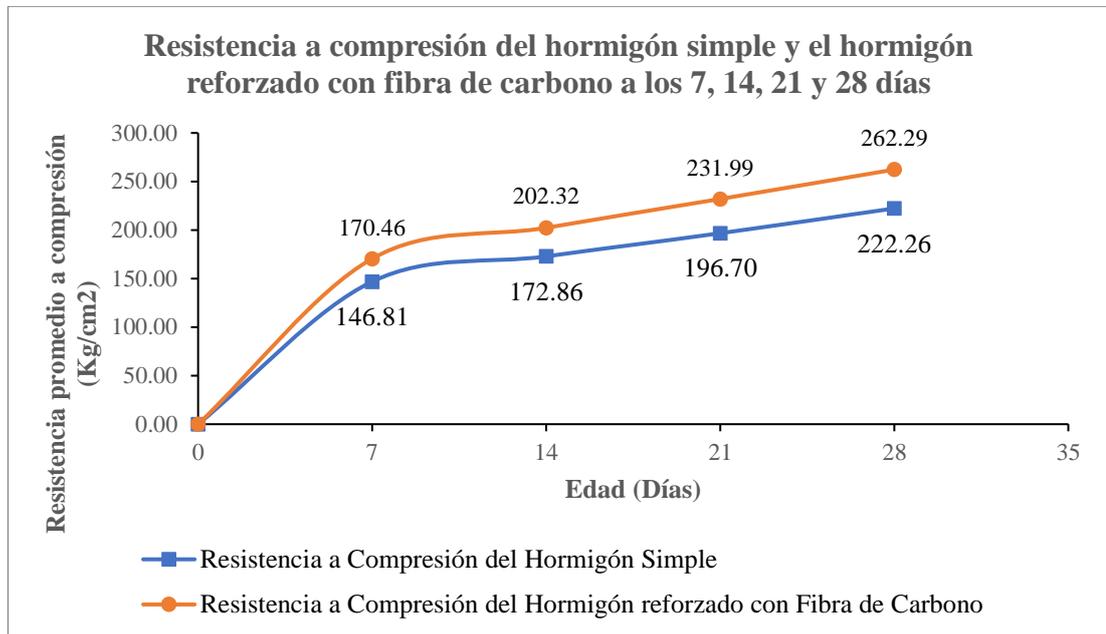


Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

Por otra parte, en la gráfica 12 se muestran los resultados promedios de la resistencia a compresión del hormigón reforzado con fibras de carbono que se obtuvieron a los 28 días de edad, cuyos resultados fueron de 262.29 Kg/cm<sup>2</sup> para el tipo de hormigón expuesto 28 días a la cámara de curado y 255.98 Kg/cm<sup>2</sup> para el hormigón expuesto 14 días a la cámara de curado y 14 días a agua con sal. Se evidencia que la resistencia del hormigón con 28 días de edad expuesto 28 días a la cámara de curado para después reforzarla con la fibra de carbono es superior al valor de resistencia del hormigón con 28 días de edad expuesto 14 días a la cámara de curado y 14 días a agua con sal para después reforzarla con la fibra de carbono, esta diferencia fue del 2.41 %.

Al examinar el rango a los 28 días de edad del 95 % al 105 % de la resistencia de diseño de 210 Kg/cm<sup>2</sup> cuyos valores son de 199.5 Kg/cm<sup>2</sup> equivalente al 95 % y 220.5 Kg/cm<sup>2</sup> equivalente al 105 %, se puede mencionar que al comparar tales valores con los resultados del trabajo experimental se puede distinguir que la resistencia de 262.29 Kg/cm<sup>2</sup> supera tal rango y que a su vez la resistencia de 255.98 Kg/cm<sup>2</sup> también supera el rango esperado.

**Gráfica 13.** Comparativo de la resistencia a compresión promedio del hormigón simple y el hormigón reforzado con fibras de carbono a los 7, 14, 21 y 28 días



Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

En la gráfica 13 se puede evidenciar los resultados de la resistencia a compresión promedio del hormigón simple y el hormigón reforzado con fibras de carbono a los 7, 14, 21 y 28 días de edad, al ver tal gráfica se puede notar la diferencia entre los dos tipos de hormigón y de esa forma identificar que al reforzar el hormigón con fibras de carbono se obtienen mayores resistencias que las obtenidas solamente con hormigón simple, también se puede decir que el porcentaje de incremento que se obtuvo en este trabajo experimental está dentro de un rango del 16 % al 18 %.

**Tabla 51.** Esquema de fallas del concreto

	
<p><b>Fotografía 1.</b> Esquema de falla del hormigón simple (Falla Tipo 3)</p>	<p><b>Fotografía 2.</b> Esquema de falla del hormigón reforzado con fibras de carbono (no se evidencia falla)</p>

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

En la tabla mostrada se evidencian los esquemas de falla que presentaron las probetas de hormigón que han sido ensayadas a compresión, en el caso de los cilindros de hormigón simple el esquema de falla fue del tipo 3 según la norma NTE INEN 1573, aunque se debe recalcar que varias probetas tuvieron una falla explosiva, en contraste, el hormigón al ser reforzado con fibras de carbono no presenta fallas visibles y mantiene su forma cilíndrica sin desprendimiento de material.

### 3.1.4 Análisis de precios unitarios

**Tabla 52.** Análisis de precios unitarios del hormigón simple

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA CIVIL					
<b>Tema:</b> "Comparación de la resistencia a compresión entre el hormigón simple y el hormigón reforzado con fibra de carbono"					
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
<b>Rubro:</b>	1			<b>Unidad:</b>	m3
<b>Detalle:</b>	Hormigón Simple de 210 Kg/cm2				
<b>EQUIPOS</b>					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramienta menor (5 %)	0,05	37,05	1,85	1	1,85
Concreteira (1 saco)	1	5	5,00	1,009	5,05
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>6,90</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
Descripción	Cantidad	Jornal/hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Maestro mayor (Estr.Oc.C1)	1	4,06	4,06	1,009	4,10
Albañil (Estr.Oc.D2)	2	3,66	7,32	1,009	7,39
Ayudante de albañil (Estr.Oc.E2)	3	3,62	10,86	1,009	10,96
Peón (Estr.Oc.E2)	4	3,62	14,48	1,009	14,61
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>37,05</b>
<b>MATERIALES</b>					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
		A	B	C=A*B	
Cemento Portland Tipo IP	Kg	340,7948	0,20	68,16	
Arena Negra	m3	0,7422	17,00	12,62	
Ripio Triturado (3/4") 19mm	m3	0,9913	18,20	18,04	
Agua	m3	0,1977	0,92	0,18	
Fibra de Carbono	m	0,0000	6,00	0,00	
Adhesivo base solvente	m	0,0000	9,00	0,00	
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>99,00</b>
<b>TRANSPORTE</b>					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
		A	B	C=A*B	
	u			0,00	
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>0,00</b>
<b>TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>					<b>142,95</b>
INDIRECTOS %				0	0,00
UTILIDAD %				0	0,00
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					<b>142,95</b>
<b>VALOR UNITARIO</b>					<b>142,95</b>
Son ciento cuarenta y dos dólares con noventa y cinco centavos					
<b>Nota:</b> Este precio no incluye IVA					
<b>Fecha:</b> Diciembre 2022			Carlos Alberto Tisalema Tasigchana		
<b>ELABORADO</b>					

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

**Tabla 53.** Análisis de precios unitarios del hormigón reforzado con fibras de carbono

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
INGENIERÍA CIVIL					
<b>Tema:</b> "Comparación de la resistencia a compresión entre el hormigón simple y el hormigón reforzado con fibra de carbono"					
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
<b>Rubro:</b>	2			<b>Unidad:</b>	m3
<b>Detalle:</b>	Hormigón de 210 Kg/cm2 reforzado con Fibras de Carbono				
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramienta menor (5 %)	0,05	37,05	1,85	1	1,85
Concreteira (1 saco)	1	5	5,00	1,009	5,05
SUBTOTAL M					6,90
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Maestro mayor (Estr.Oc.C1)	1	4,06	4,06	1,009	4,10
Albañil (Estr.Oc.D2)	2	3,66	7,32	1,009	7,39
Ayudante de albañil (Estr.Oc.E2)	3	3,62	10,86	1,009	10,96
Peón (Estr.Oc.E2)	4	3,62	14,48	1,009	14,61
SUBTOTAL N					37,05
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
		A	B	C=A*B	
Cemento Portland Tipo IP	Kg	340,7948	0,20	68,16	
Arena Negra	m3	0,7422	17,00	12,62	
Ripio Triturado (3/4") 19mm	m3	0,9913	18,20	18,04	
Agua	m3	0,1977	0,92	0,18	
Fibra de Carbono	m	36,0000	6,00	216,00	
Adhesivo base solvente	m	18,0000	9,00	162,00	
SUBTOTAL O					477,00
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
		A	B	C=A*B	
	u			0,00	
SUBTOTAL P					0,00
<b>TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>					<b>520,95</b>
INDIRECTOS %					0
UTILIDAD %					0
COSTO TOTAL DEL RUBRO					520,95
<b>VALOR UNITARIO</b>					<b>520,95</b>
Son quinientos veinte dólares con noventa y cinco centavos					
<b>Nota:</b> Este precio no incluye IVA					
<b>Fecha:</b> Diciembre 2022			Carlos Alberto Tisalema Tasigchana		
<b>ELABORADO</b>					

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

## 3.2 Verificación de hipótesis

### Hipótesis

El hormigón reforzado con fibra de carbono incrementa su resistencia a compresión.

### Verificación de Hipótesis

Dada las características de la investigación se ha decidido verificar la hipótesis mediante la comparación de medias entre los valores de resistencia a compresión.

Por la naturaleza del experimento efectuado se realiza la verificación por cada periodo de experimentación, es decir a los 7, 14, 21 y finalmente 28 días, como se muestra a continuación:

- Comparación de medias a los 7 días

Hipótesis nula ( $H_0$ ): La resistencia a compresión del hormigón reforzado con fibra de carbono (FC) es similar a la resistencia a compresión del hormigón simple (HS).

$$H_0: FC = HS$$

$$170.46 \text{ Kg/cm}^2 \neq 146.81 \text{ Kg/cm}^2$$

Hipótesis alterna ( $H_1$ ): La resistencia a compresión del hormigón reforzado con fibra de carbono (FC) es superior a la resistencia a compresión del hormigón simple (HS).

$$H_0: FC > HS$$

$$170.46 \text{ Kg/cm}^2 > 146.81 \text{ Kg/cm}^2$$

Decisión: Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

- Comparación de medias a los 14 días

Hipótesis nula (Ho): La resistencia a compresión del hormigón reforzado con fibra de carbono (FC) es similar a la resistencia a compresión del hormigón simple (HS).

$$H_0: FC = HS$$

$$202.32 \text{ Kg/cm}^2 \neq 172.86 \text{ Kg/cm}^2$$

Hipótesis alterna (H1): La resistencia a compresión del hormigón reforzado con fibra de carbono (FC) es superior a la resistencia a compresión del hormigón simple (HS).

$$H_0: FC > HS$$

$$202.32 \text{ Kg/cm}^2 > 172.86 \text{ Kg/cm}^2$$

Decisión: Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

- Comparación de medias a los 21 días

Hipótesis nula (Ho): La resistencia a compresión del hormigón reforzado con fibra de carbono (FC) es similar a la resistencia a compresión del hormigón simple (HS).

$$H_0: FC = HS$$

$$231.99 \text{ Kg/cm}^2 \neq 196.70 \text{ Kg/cm}^2$$

Hipótesis alterna (H1): La resistencia a compresión del hormigón reforzado con fibra de carbono (FC) es superior a la resistencia a compresión del hormigón simple (HS).

$$H_0: FC > HS$$

$$231.99 \text{ Kg/cm}^2 > 196.70 \text{ Kg/cm}^2$$

Decisión: Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

- Comparación de medias a los 28 días

Hipótesis nula (H<sub>0</sub>): La resistencia a compresión del hormigón reforzado con fibra de carbono (FC) es similar a la resistencia a compresión del hormigón simple (HS).

$$H_0: FC = HS$$

$$262.29 \text{ Kg/cm}^2 \neq 222.26 \text{ Kg/cm}^2$$

Hipótesis alterna (H<sub>1</sub>): La resistencia a compresión del hormigón reforzado con fibra de carbono (FC) es superior a la resistencia a compresión del hormigón simple (HS).

$$H_0: FC > HS$$

$$262.29 \text{ Kg/cm}^2 > 222.26 \text{ Kg/cm}^2$$

Decisión: Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

En base a los resultados de los ensayos a compresión realizados a las probetas de hormigón con dosificación para una resistencia de diseño de 210 Kg/cm<sup>2</sup> y en base a las comparaciones de medias realizadas con anterioridad, se evidencia que tanto a los 7, 14, 21 y 28 días de edad la resistencia promedio obtenida del hormigón reforzado con fibras de carbono es mayor que la resistencia promedio obtenida del hormigón simple. Incluso al momento de ocasionarle un daño al hormigón exponiéndolo al agua con sal, la tendencia no cambia y la resistencia del hormigón reforzado con fibra es superior a la resistencia del hormigón simple.

Por lo que se comprueba que la hipótesis planteada es correcta, pues con los resultados de los ensayos a compresión se comprobó que al reforzar al hormigón con fibra de carbono aumenta la resistencia a compresión en comparación con el hormigón que no es reforzado con la fibra de carbono.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones

- Se fabricaron las probetas de hormigón tomando en consideración al método de Densidad Óptima propuesta por la Universidad Central del Ecuador, de la cual en base a la misma se realizaron ensayos previos a los agregados y al cemento establecidos en normativas INEN y ASTM para obtener los datos necesarios que requiere el método, entre los ensayos realizados se encuentran el de análisis granulométrico, peso unitario suelto y compactado, densidad real y capacidad de absorción de los agregados, contenido de humedad, y densidad real del cemento; de esa forma se encontró la dosificación adecuada para una resistencia de diseño de  $210 \text{ Kg/cm}^2$ .
- Se elaboraron las pruebas de ensayo a compresión mediante procedimientos experimentales aplicados a un grupo de probetas fabricadas con hormigón simple, encontrando resultados mostrados en tablas y gráficas en el capítulo III en donde se encuentran cantidades de resistencia a compresión promedio de  $146.81 \text{ Kg/cm}^2$  a los 7 días,  $172.86 \text{ Kg/cm}^2$  a los 14 días,  $196.70 \text{ Kg/cm}^2$  a los 21 días y  $222.26 \text{ Kg/cm}^2$  a los 28 días de edad. La cantidad de probetas de hormigón utilizadas fueron 3 por cada edad, de las cuales se obtuvieron los promedios de resistencias a compresión.
- Se realizaron las pruebas de resistencia a compresión basados en procedimientos experimentales aplicados a un grupo de probetas de hormigón simple reforzadas con fibras de carbono, logrando resultados mostrados en tablas y gráficas en el capítulo III que evidencian valores de resistencia a compresión promedio tales como  $170.46 \text{ Kg/cm}^2$  a los 7 días,  $202.32 \text{ Kg/cm}^2$  a los 14 días,  $231.99 \text{ Kg/cm}^2$  a los 21 días y  $262.29 \text{ Kg/cm}^2$  a los 28 días de edad. La cantidad de cilindros de

concreto ensayadas fueron 3 por cada tiempo de edad, de esa forma se pudo obtener promedios de resistencias a compresión.

- Se logró determinar estadísticamente las resistencias a compresión promedio a los 7 días de edad, encontrando que el valor de resistencia de 170.46 Kg/cm<sup>2</sup> correspondiente al hormigón reforzado con fibra de carbono es superior en 16.11 % al valor de resistencia de 146.81 Kg/cm<sup>2</sup> equivalente al hormigón simple.
- Se consiguió establecer estadísticamente las resistencias a compresión promedio a los 14 días de edad, encontrando que la resistencia de 202.32 Kg/cm<sup>2</sup> del hormigón simple reforzado con fibra de carbono supera en 17.04 % a la resistencia de 172.86 Kg/cm<sup>2</sup> del hormigón simple.
- Se pudo determinar estadísticamente los resultados de resistencia a compresión promedio a la edad de 21 días de curado, encontrando una diferencia que representa una tasa de 17.94 % entre el valor de resistencia de 231.99 Kg/cm<sup>2</sup> del hormigón simple reforzado con fibra de carbono y el valor de resistencia de 196.70 Kg/cm<sup>2</sup> del hormigón simple. Además se pudo comprobar que la resistencia a compresión del hormigón reforzado es superior a la resistencia del hormigón simple.
- Se alcanzó a establecer estadísticamente resultados en relación a la resistencia a compresión promedio a la edad de 28 días de curado, encontrando una diferencia que representa un valor porcentual de 18.01 % entre un valor de resistencia promedio de 262.29 Kg/cm<sup>2</sup> correspondiente al hormigón reforzado con fibra de carbono y un valor de resistencia promedio de 222.26 Kg/cm<sup>2</sup> equivalente al hormigón simple. Además se logró evidenciar que la resistencia a compresión del hormigón reforzado con la fibra de carbono supera a la resistencia del concreto simple tradicional.
- Para complementar la investigación y como APORTE ADICIONAL se sometieron 6 probetas a la presencia de cloruros y se simularon condiciones de secado y humedecimiento con el objetivo de acelerar más los daños, evidenciándose que al someter el concreto a la presencia de cloruros (agua con sal) la resistencia decrece en comparación a la del hormigón que no fue expuesto al agua salada, en el caso del hormigón simple la diferencia porcentual es de 2.35 %, y en el caso del

hormigón reforzado con fibras de carbono la diferencia es de 2.41 %. Se logró determinar estadísticamente resultados en relación a la resistencia a compresión promedio a la edad de 28 días con la observación de que el concreto estuvo expuesto 14 días a la cámara de curado y 14 días al agua con sal, encontrando una diferencia que representa un valor porcentual de 17.95 % entre una resistencia promedio de 255.98 Kg/cm<sup>2</sup> correspondiente al hormigón reforzado con fibra de carbono y una resistencia promedio de 217.03 Kg/cm<sup>2</sup> equivalente al hormigón simple. Por lo que se pudo evidenciar la importancia que implica el reforzar al concreto con fibra de carbono y con mayor relevancia al hormigón que está expuesto a condiciones ambientales severas.

- Se analizó estadísticamente los resultados experimentales de resistencia a compresión entre probetas de hormigón simple y hormigón reforzado con fibras de carbono para describir los beneficios de utilización de fibras de carbono en el hormigón, entre los cuales se encuentran ventajas como el incremento de la resistencia a compresión en más de 10 % al reforzar el concreto con fibra de carbono, y evitar de cierta manera la falla explosiva del concreto al usar refuerzo de fibra de carbono, pues al momento en que el concreto se ensayó en la máquina a compresión varias de las probetas de ensayo del hormigón simple eclosionaron fuertemente en contraste con los cilindros de hormigón reforzado con fibras de carbono que mantuvieron una forma cilíndrica sin desprendimiento de material.
- Se comprobó mediante análisis de precios unitarios que el costo de un metro cúbico de hormigón simple con un valor de 142.95 dólares es menor al valor de 520.95 dólares correspondiente al rubro de hormigón reforzado con fibras de carbono, obteniendo de esa forma una diferencia entre ambos de 378 dólares, por lo que el costo del hormigón reforzado es mayor en comparación al hormigón simple, pero a su vez el empleo del hormigón reforzado con fibra de carbono permite conseguir una mayor resistencia a compresión, por lo tanto, al analizar tanto costo como beneficios se puede decir que es factible usar el concreto con refuerzo de fibra de carbono especialmente si se busca una mayor resistencia y que a su vez permita tener mayor seguridad.

- Debido al costo que este tipo de hormigones representa podría utilizarse en el refuerzo de columnas en edificaciones de importancia así como también en el refuerzo de elementos estructurales de todo tipo de obras civiles que trabajen predominantemente a compresión.

## **4.2 Recomendaciones**

- Se recomienda tener cuidado con el almacenamiento y el manejo de los materiales que componen el hormigón para evitar errores en la elaboración de la mezcla de concreto.
- Se debe determinar el contenido de humedad de los agregados finos y gruesos un día antes de la fecha de elaboración de la mezcla de concreto, para de esa forma tener en cuenta para el cálculo de dosificación el estado en el que se encuentran tales agregados y de esa manera realizar la corrección de humedad correspondiente.
- Antes de la elaboración de las probetas de hormigón se debe verificar el estado de los moldes, pues estos deben estar bien ajustados para evitar que el concreto se derrame debido a la presión que el hormigón ejerce sobre el molde, de esa forma se evita derrames y que las dimensiones de las probetas de concreto sean correctas. Además se debe tomar en cuenta que el uso de aceite quemado colocado en las paredes y bases del molde permite que después del tiempo reglamentado sea más fácil desmoldar las muestras de concreto.
- Se recomienda que para la elaboración de la mezcla de hormigón no se modifique la relación agua/cemento, pues tal relación al estar estrechamente relacionada con la resistencia a compresión del concreto puede afectar tal propiedad del hormigón.

- Al momento de colocar la fibra de carbono se debe tomar en cuenta que tanto la superficie de hormigón como la superficie de fibra de carbono deben estar libres de polvo, grasas, u otros agentes que puedan afectar la adherencia entre estos dos materiales.
- Se recomienda tomar apuntes de las mediciones y resultados que se realicen para el trabajo experimental, de esa forma se tiene un registro de datos para luego cotejarlos.
- Antes de ensayar las muestras de hormigón reforzado con fibra de carbono se debe esperar un tiempo de por lo menos una hora para que el adhesivo alcance la mayor fuerza de unión posible entre el hormigón y la fibra de carbono.
- Para tener resultados más reales y evidenciar verdaderamente la mejora del reforzamiento del concreto con fibras de carbono se debe esperar mayor tiempo en la exposición a agentes químicos desfavorables para el hormigón, en este caso el los cloruros (agua con sal) o a su vez acelerar el daño.
- Se recomienda a la comunidad de estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil que continúen con estudios e investigaciones en relación a los hormigones reforzados con fibra de carbono sometidos a fuerzas de compresión, de esa forma se puede incrementar la base experimental de datos, de tal manera que se puedan analizar las posibilidades del uso del material en la construcción civil a futuro.

## C. MATERIALES DE REFERENCIA

### Referencias Bibliográficas

- [1] Comunidad 360° en Concreto, «UN BREVE RECORRIDO A LA HISTORIA DEL CEMENTO,» ARGOS 360° en Concreto, 2022. [En línea]. Available: <https://360enconcreto.com/blog/detalle/recorrido-historia-del-cemento/>. [Último acceso: 17 Noviembre 2022].
- [2] K. J. Erazo López, «ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN BASE A LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN FABRICADO CON MATERIALES DE LAS MINAS: “LAS PEÑAS” EN EL CANTÓN TULCÁN, PROVINCIA DEL CARCHI Y “RAMÍREZ”, UBICADA EN EL CANTÓN IBARRA, PROVINCIA DE IMBABURA,» Universidad Técnica de Ambato - Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Ambato, 2021.
- [3] Oficemen (Agrupación de fabricantes de cemento de España), «HISTORIA DEL CEMENTO,» Oficemen (Agrupación de fabricantes de cemento de España), 2017. [En línea]. Available: <https://www.oficemen.com/el-cemento/historia-del-cemento/>. [Último acceso: 17 Noviembre 2022].
- [4] Á. Nistal, M. Ruiz y M. Retana, «El hormigón: Historia, antecedentes en obras y factores identificativos de su resistencia,» *Tecnología y desarrollo*, vol. X, nº 28691, 2012.
- [5] CEDEX - CEHOPU, «1796-1844 Desarrollo de los cementos naturales e invención del cemento Portland artificial,» CEDEX - CEHOPU, 2010. [En línea]. Available: [http://www.cehopu.cedex.es/hormigon/temas/C32.php?id\\_tema=75#:~:text=En%201824%20el%20empresario%20ladrillero,piedra%20de%20esta%20pen%C3%ADnsula%20inglesa..](http://www.cehopu.cedex.es/hormigon/temas/C32.php?id_tema=75#:~:text=En%201824%20el%20empresario%20ladrillero,piedra%20de%20esta%20pen%C3%ADnsula%20inglesa..) [Último acceso: 17 Noviembre 2022].

- [6] Cemento Natural, «Historia,» Cemento Natural, 2022. [En línea]. Available: <https://www.cementonatural.com/historiafabricacion>. [Último acceso: 17 Noviembre 2022].
- [7] Á. G. Sánchez Muñoz, «Análisis de la resistencia a compresión del hormigón al sustituir parcialmente el cemento hidráulico tipo GU por ceniza volcánica (Tesis de pregrado),» Universidad Técnica de Ambato - Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Ambato, 2022.
- [8] M. Moncayo Theurer, J. Rodríguez, Alcívar, López, Soriano y Villacis, «Las fibras de carbono como una alternativa para reforzamiento de estructuras,» *Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY*, vol. XX, n° 1, pp. 57-62, 2016.
- [9] GRAFFIT, «Una breve historia sobre la fibra de carbono,» GRAFFIT, 15 Abril 2020. [En línea]. Available: <https://graffit-eyewear.com/una-breve-historia-sobre-la-fibra-de-carbono/>. [Último acceso: 18 Noviembre 2022].
- [10] Tasuns Compuesto Technology Co., Ltd, «Larga Historia De La Fibra De Carbono,» Tasuns Compuesto Technology Co., Ltd, 15 Diciembre 2018. [En línea]. Available: <http://www.t-composites.net/info/long-history-of-carbon-fiber-31187646.html>. [Último acceso: 18 Noviembre 2022].
- [11] J. L. Núñez Meneses, «ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN COMÚN CON EL HORMIGÓN ADICIONADO FIBRAS DE NYLON, UTILIZANDO AGREGADOS EXISTENTES EN LA PROVINCIA DE PASTAZA. (Tesis de pregrado de Ingeniería),» Universidad Técnica de Ambato - Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Ambato, 2016.
- [12] B. Duran y C. España, «Determinación de patologías estructurales y comportamiento de vigas a esfuerzos de flexión reforzadas con fibra de carbono. (Tesis de Ingeniería),» Universidad de Guayaquil - Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas Escuela de Ingeniería Civil, Guayaquil, 2018.

- [13] R. Gutierrez, «Resistencia a la compresión axial de probetas de concreto  $f'c$  210 Kg/cm<sup>2</sup>, reforzadas externamente con platinas de fibra de carbono. (Tesis de Ingeniería),» Universidad Privada del Norte - Facultad de Ingeniería, Cajamarca, 2019.
- [14] A. A. Beltran Riveros, «Uso de fibras de carbono como reforzamiento a flexión en vigas de concreto reforzado (Tesis de pregrado),» Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia, 2011.
- [15] Import Quivensa Cía. Ltda., «Fibra de carbono,» Import Quivensa Cía. Ltda., 2020. [En línea]. Available: <https://quivensa.com/producto/fibra-de-carbono/>. [Último acceso: 2022 Enero 09].
- [16] C. Luaces, «Los áridos,» 22 Enero 2010. [En línea]. Available: <https://www.interempresas.net/Construccion/Articulos/37082-Los-aridos.html>. [Último acceso: 30 Diciembre 2022].
- [17] D. Jiménez, «Diseño de mezclas de dosificación para hormigón de  $f'c= 210$  kg. / cm.<sup>2</sup> a partir del estudio de las propiedades de los materiales pétreos de las canteras Ancesa 3, Las Juntas, Los Nietos y Alvarado. (Tesis de Arquitectura),» Universidad Tecnológica Indoamérica - Facultad de Arquitectura, Artes y Diseño, Ambato, 2020.
- [18] L. López, «Análisis del módulo de elasticidad estático del hormigón en base a su resistencia a la compresión fabricado con materiales de las minas: Comanche Uno y Comanche Dos, ubicadas en el cantón Palora provincia de Morona Santiago (Tesis de Ingeniería),» Universidad Técnica de Ambato - Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Ambato, 2022.
- [19] C. Enríquez, J. Chacón y F. Torres, «Comprobación de las propiedades físico - mecánicas de un hormigón elaborado con agregados gruesos de origen triturado y zarandeado. (Tesis de Ingeniería),» Universidad Central del Ecuador, Quito, 2016.
- [20] Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), «NTE INEN 0872: Áridos para hormigón. Requisitos,» 08 Septiembre 2011. [En línea]. Available:

[https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte\\_inen\\_872-1.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_872-1.pdf). [Último acceso: 13 Mayo 2020].

- [21] ASINPER SAC | Contratistas Generales | Ingeniería y construcción, «Agregado fino,» ASINPER SAC | Contratistas Generales | Ingeniería y construcción, 04 Marzo 2021. [En línea]. Available: <https://asinpersac.com/producto/agregado-fino/>. [Último acceso: 30 Diciembre 2022].
- [22] Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), «NTE INEN 0696: Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso,» 06 Mayo 2011. [En línea]. Available: [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte\\_inen\\_696-1.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_696-1.pdf). [Último acceso: 13 Mayo 2020].
- [23] D. Peña, «Estudio comparativo entre los hormigones: arena-ripio-cemento, granzón-ripio-cemento, puzolana-ripio-cemento con una misma dosificación y su incidencia en la resistencia a la rotura por compresión a los 7, 14, 21 y 28 días de edad (Tesis de Ingeniería),» Universidad Técnica de Ambato - Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Ambato, 2015.
- [24] Cueva del Ingeniero Civil, «MÓDULO DE FINURA M.F. (MÓDULO GRANULOMÉTRICO),» Cueva del Ingeniero Civil, 29 Septiembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.cuevadelcivil.com/2011/04/modulo-de-finura-mf.html>. [Último acceso: 30 Diciembre 2022].
- [25] Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), «NTE INEN 0856: Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino,» 23 Diciembre 2010. [En línea]. Available: [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte\\_inen\\_856-1.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_856-1.pdf). [Último acceso: 13 Mayo 2020].
- [26] J. Manosalvas, «Determinación de una constante para el cálculo del módulo de elasticidad estático del hormigón con agregados de las minas GADMFO: La Conde, Guayusa y Punino 2, del cantón Francisco de Orellana, provincia de Orellana (Tesis

de Ingeniería),» Universidad Técnica de Ambato - Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Ambato, 2019.

- [27] Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), «NTE INEN 0694: Hormigón y Áridos para elaborar hormigón. Terminología,» 01 Junio 2010. [En línea]. Available: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/694-1.pdf>. [Último acceso: 30 Diciembre 2022].
- [28] Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), «NTE INEN 0862: Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad,» 26 Mayo 2011. [En línea]. Available: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/862.pdf>. [Último acceso: 30 Diciembre 2022].
- [29] K. Ortega, «DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN LIGERO ESTRUCTURAL INCLUYENDO ARCILLA EXPANDIDA Y SU COMPARACIÓN CON HORMIGONES TRADICIONALES (Tesis de Ingeniería),» Universidad Técnica de Ambato - Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Ambato, 2017.
- [30] Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), «NTE INEN 0858: Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos,» 24 Diciembre 2010. [En línea]. Available: [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte\\_inen\\_858-1.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_858-1.pdf). [Último acceso: 13 Mayo 2020].
- [31] El Oficial, «MATERIALES PÉTREOS QUE SE USAN EN LA CONSTRUCCIÓN,» El Oficial, 28 Febrero 2019. [En línea]. Available: <https://eloficial.ec/materiales-petres-que-se-usan-en-la-construccion/>. [Último acceso: 30 Diciembre 2022].
- [32] Construmatica, «Tipos de Áridos,» Construmatica, 26 Septiembre 2018. [En línea]. Available: [https://www.construmatica.com/construpedia/Tipos\\_de\\_%C3%81ridos](https://www.construmatica.com/construpedia/Tipos_de_%C3%81ridos). [Último acceso: 30 Diciembre 2022].

- [33] Ingeniero de caminos, «Granulometría de suelos,» Ingeniero de caminos, 2022. [En línea]. Available: <https://ingeniero-de-caminos.com/granulometria/>. [Último acceso: 30 Diciembre 2022].
- [34] Universidad Militar Nueva Granada - Facultad de Estudios a Distancia, «Distribución granulométrica,» Universidad Militar Nueva Granada - Facultad de Estudios a Distancia, 2022. [En línea]. Available: [http://virtual.umng.edu.co/distancia/ecosistema/ovas/ingenieria\\_civil/tecnologia\\_del\\_concreto\\_y\\_laboratorio/unidad\\_1/medios/documentacion/p10h10.php#:~:text=Tama%C3%B1o%20m%C3%A1ximo%20nominal%3A%20se%20calcula,del%20agregado%20en%20forma%20colectiva..](http://virtual.umng.edu.co/distancia/ecosistema/ovas/ingenieria_civil/tecnologia_del_concreto_y_laboratorio/unidad_1/medios/documentacion/p10h10.php#:~:text=Tama%C3%B1o%20m%C3%A1ximo%20nominal%3A%20se%20calcula,del%20agregado%20en%20forma%20colectiva..) [Último acceso: 30 Diciembre 2022].
- [35] Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), «NTE INEN 0857: Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso,» 19 Octubre 2010. [En línea]. Available: [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte\\_inen\\_857-1.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_857-1.pdf). [Último acceso: 13 Mayo 2020].
- [36] BECOSAN, «Cemento, el principal conglomerante de la construcción,» BECOSAN, 28 Enero 2020. [En línea]. Available: <https://www.becosan.com/es/que-es-el-cemento-en-la-construccion/>. [Último acceso: 30 Diciembre 2022].
- [37] M. Á. Sanjuán Barbudo y S. Chinchón Yepes, Introducción a la fabricación y normalización del cemento portland, Alicante: Universidad de Alicante, 2014.
- [38] Cementos y Hormigones, «¿Qué es el cemento?,» Cementos y Hormigones, [En línea]. Available: <https://sites.google.com/site/cemyhor/-que-es-el-cemento>. [Último acceso: 30 Diciembre 2022].
- [39] Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), «NTE INEN 0151: Cemento hidráulico. Definición de términos,» 19 Enero 2010. [En línea]. Available: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/151.pdf>. [Último acceso: 30 Diciembre 2022].

- [40] M. I. Constante Álvarez, «Análisis del módulo de elasticidad estático del hormigón en base a su resistencia a la compresión fabricado con materiales de las minas: Erick Joel y Virginia ubicadas en el cantón Píllaro provincia de Tungurahua. (Tesis de Ingeniería),» Universidad Técnica de Ambato - Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Ambato, 2022.
- [41] Mariola &, «¿CÓMO SE FABRICA EL CEMENTO? [Archivo de video],» YouTube, 26 Mayo 2015. [En línea]. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=mxIb\\_LkjeXg](https://www.youtube.com/watch?v=mxIb_LkjeXg). [Último acceso: 16 Mayo 2020].
- [42] Oficemen, «EL PROCESO DE PRODUCCIÓN,» Oficemen, 2017. [En línea]. Available: <https://www.oficemen.com/el-cemento/proceso-de-fabricacion/>. [Último acceso: 30 Diciembre 2022].
- [43] CEMEX, «Productos - ¿Cómo hacemos cemento?,» CEMEX, 2022. [En línea]. Available: <https://www.cemex.com/es/productos-servicios/productos/cemento#:~:text=El%20cemento%20es%20un%20polvo,aditivos%20qu%C3%ADmicos%20para%20producir%20cemento..> [Último acceso: 30 Diciembre 2022].
- [44] Cementos Balboa, «PROCESO DE FABRICACIÓN - Prehomogeneización,» Cementos Balboa, 2019. [En línea]. Available: <https://cementosbalboa.es/proceso-de-fabricacion/#:~:text=3.-,Prehomogeneizaci%C3%B3n,distintos%20componentes%20reduciendo%20su%20variabilidad..> [Último acceso: 30 Diciembre 2022].
- [45] Cemento INKA, «Proceso de fabricación del cemento,» Cemento INKA, 2022. [En línea]. Available: <https://www.cementosinka.com.pe/blog/proceso-fabricacion-del-cemento/>. [Último acceso: 30 Diciembre 2022].
- [46] ASOCEM, «¿Cuál es el proceso de fabricación del cemento?,» ASOCEM, 31 Diciembre 2016. [En línea]. Available: <http://www.asocem.org.pe/productos->

a/cual-es-el-proceso-de-fabricacion-del-cemento. [Último acceso: 30 Diciembre 2022].

- [47] UNACEM Ecuador S.A., «Proceso de producción del cemento,» UNACEM Ecuador S.A., [En línea]. Available: <https://unacemecuador.com/proceso-cemento/>. [Último acceso: 30 Diciembre 2022].
- [48] Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), «NTE INEN 0152: Cemento portland. Requisitos,» 10 Septiembre 2012. [En línea]. Available: [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte\\_inen\\_152-5.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_152-5.pdf). [Último acceso: 13 Mayo 2020].
- [49] Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), «NTE INEN 0490: Cementos hidráulicos compuestos. Requisitos,» 19 Enero 2011. [En línea]. Available: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/490.pdf>. [Último acceso: 30 Diciembre 2022].
- [50] Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), «NTE INEN 2380: Cemento hidráulico. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos,» 05 Julio 2011. [En línea]. Available: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2380.pdf>. [Último acceso: 30 Diciembre 2022].
- [51] Ó. E. Andachi Solís, «Estudio del módulo de elasticidad estático del hormigón en base a su resistencia a la compresión fabricado con materiales de las minas: la playa, ubicada en el cantón Salcedo provincia de Cotopaxi y Salvador, ubicada en el cantón Ambato (Tesis),» Universidad Técnica de Ambato - Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Ambato, 2020.
- [52] M. I. Constante Álvarez, «Análisis del módulo de elasticidad estático del hormigón en base a su resistencia a la compresión fabricado con materiales de las minas: Erick Joel y Virginia ubicadas en el cantón Píllaro provincia de Tungurahua (Tesis de Ingeniería),» Universidad Técnica de Ambato - Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Ambato, 2022.

- [53] Notas de Concretos, «Cemento Portland Tipo IS.,» Notas de Concretos, 2009. [En línea]. Available: <http://notasdeconcretos.blogspot.com/2011/04/cemento-portland-tipo-is.html>. [Último acceso: 30 Diciembre 2022].
- [54] UNACEM, «Ficha Técnica Selvalegre,» 2022. [En línea]. Available: <https://unacem.ec/wp-content/uploads/2018/09/selvalegre.pdf>. [Último acceso: 14 Septiembre 2022].
- [55] HOLCIM, «CEMENTO HOLCIM FUERTE ECOPLANET TIPO GU,» HOLCIM, 2022. [En línea]. Available: <https://www.holcim.com.ec/cemento-holcim-fuerte>. [Último acceso: 30 Diciembre 2022].
- [56] Holcim Ecuador, «Tipos de Cementos y Normativa,» 2012. [En línea]. Available: <https://studylib.es/doc/6484474/tipos-de-cementos-y-normativa>. [Último acceso: 30 Diciembre 2022].
- [57] L. C. Lopera Agudelo, «Más de 50 tipos de cemento ¿cuál es el idóneo para tu proyecto?,» ALIÓN, Febrero 2021. [En línea]. Available: <https://alion.com.co/mas-de-50-tipos-de-cemento-cual-es-el-idoneo-para-tu-proyecto/>. [Último acceso: 30 Diciembre 2022].
- [58] D. A. Valle Valle, «La resistencia a la compresión del hormigón y su influencia en el módulo de elasticidad estático en el cantón Tena, provincia de Napo. (Tesis de Ingeniería),» Universidad Técnica de Ambato - Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Ambato, 2022.
- [59] Notas de Concretos, «Cementos Hidráulicos Tipo GU, Tipo HE, Tipo MS, Tipo HS, Tipo MH y Tipo LH,» Notas de Concretos, 2009. [En línea]. Available: <http://notasdeconcretos.blogspot.com/2011/04/cementos-hidraulicos-tipo-gu-tipo-he.html>. [Último acceso: 30 Diciembre 2022].
- [60] N. M. Masaquiza Páez, «Estudio del módulo de elasticidad estático del hormigón en base a su resistencia a la compresión fabricado con materiales de las minas: mora ubicada en el cantón Ambato provincia de Tungurahua y Cantera Volcán ubicada

en el cantón Baños (Tesis),» Universidad Técnica de Ambato - Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Ambato, 2022.

- [61] Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), «NTE INEN 0156: Cemento hidráulico. Determinación de la densidad,» 19 Junio 2009. [En línea]. Available: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/156.pdf>. [Último acceso: 30 Diciembre 2022].
- [62] F. Lamus Báez y S. Andrade, *Concreto reforzado: Fundamentos*, Bogotá: Ecoe Ediciones, 2016.
- [63] Hogarmania, «Hormigón, características y usos,» Hogarmania, [En línea]. Available: <https://www.hogarmania.com/bricolaje/taller/materiales/hormigon-caracteristicas-usos-26838.html>. [Último acceso: 30 Diciembre 2022].
- [64] K. Andrade y K. Flores, Artists, *PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL HORMIGÓN AL COMPLEMENTAR LA MEZCLA CON EL COMPUESTO DEL RESIDUO DE FACTOR DE CRAQUEO CATALÍTICO*. [Art]. Universidad Central del Ecuador, 2016.
- [65] P. X. Flores Medina, «Análisis del módulo de elasticidad estático del hormigón estructural en base a su resistencia a la compresión, fabricado con materiales de las minas Trópico de Capricornio y Santa Isabel, ubicadas en el sector El Barranco cantón Mera (Tesis de Ingeniería),» Universidad Técnica de Ambato - Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Ambato, 2020.
- [66] Fundación Laboral de la Construcción, «DICCIONARIO DE LA CONSTRUCCIÓN,» Fundación Laboral de la Construcción, 2022. [En línea]. Available: <http://www.diccionariodelaconstruccion.com/estructuras/estructuras-de-hormigon/consistencia-del-hormigon>. [Último acceso: Abril 2022].
- [67] Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), «NTE INEN 1578: Hormigón de cemento hidráulico. Determinación del asentamiento,» 14 Junio 2010. [En línea]. Available: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1578.pdf>. [Último acceso: 30 Diciembre 2022].

- [68] D. J. Laica Fernández, «Análisis de la resistencia a compresión del hormigón al reemplazar parcialmente el agregado fino por escoria siderúrgica de horno eléctrico. (Tesis de Ingeniería),» Universidad Técnica de Ambato - Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Ambato, 2018.
- [69] Instituto Ecuatoriano del Cemento y el Concreto (INECYC) y la Asociación de Productores de Hormigón Premezclado del Ecuador (APRHOPEC), El Manual de Pepe Hormigón – Consejos Prácticos sobre el Hormigón, Quito: Instituto Ecuatoriano del Cemento y el Concreto (INECYC) y la Asociación de Productores de Hormigón Premezclado del Ecuador (APRHOPEC), 2007.
- [70] C. E. Haro Molina, «ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN ENTRE EL HORMIGÓN TRADICIONAL Y HORMIGÓN ADICIONADO CENIZAS DE CASCARILLA DE ARROZ (CCA) Y HORMIGÓN ADICIONADO CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR (CBC). (Tesis de pregrado de Ingeniería),» Universidad Técnica de Ambato - Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Ambato, 2016.
- [71] Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), «NTE INEN 1579: Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la densidad, rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico),» 07 Marzo 2013. [En línea]. Available: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1579.pdf>. [Último acceso: 30 Diciembre 2022].
- [72] ACI-318-19, Requisitos de Reglamento para el concreto Estructural, EE.UU: America Concrete Institute, 2019.
- [73] Escuela de Ingeniería Técnica Civil. Arquitectura Técnica. Materiales II, «HORMIGÓN,» 2007. [En línea]. Available: [https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6203/mod\\_resource/content/1/Hormigon\\_02.\\_Tipos\\_y\\_propiedades.pdf](https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6203/mod_resource/content/1/Hormigon_02._Tipos_y_propiedades.pdf). [Último acceso: 30 Diciembre 2022].

- [74] BECOSAN, «Hormigón endurecido,» BECOSAN, 19 Marzo 2021. [En línea]. Available: <https://www.becosan.com/es/hormigon-endurecido/>. [Último acceso: 30 Diciembre 2022].
- [75] Construmatica, «Hormigón Endurecido,» Construmatica, 09 Enero 2012. [En línea]. Available: [https://www.construmatica.com/construpedia/Hormig%C3%B3n\\_Endurecido](https://www.construmatica.com/construpedia/Hormig%C3%B3n_Endurecido). [Último acceso: 30 Diciembre 2022].
- [76] V. S. Chacón Santos, «Análisis teórico-experimental de la resistencia a la compresión del hormigón y su influencia en el módulo de elasticidad estático en el cantón Santo Domingo de los Colorados, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas. (Tesis de Ingeniería),» Universidad Técnica de Ambato - Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Ambato, 2021.
- [77] American Society for Testing Materials (ASTM), «ASTM C 39: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens,» [En línea]. Available: <https://normanray.files.wordpress.com/2010/10/kuliah-7b-beton-segar-astm-c39.pdf>. [Último acceso: 30 Diciembre 2022].
- [78] Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), «NTE INEN 1573: Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico.,» 14 Junio 2010. [En línea]. Available: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1573.pdf>. [Último acceso: 13 Mayo 2020].
- [79] M. Conrado y J. Rojas, Artists, *DISEÑO DE HORMIGONES CON FIBRAS DE POLIPROPILENO PARA RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN DE 21 Y 28 MPa CON AGREGADOS DE LA CANTERA DE GUAYLLABAMBA.* [Art]. Universidad Central Del Ecuador, 2012.
- [80] Notas de Hormigón Armado, «1º Características Mecánicas del Hormigón: Resistencia,» Notas de Hormigón Armado, 17 Abril 2011. [En línea]. Available:

<http://notasdehormigonarmado.blogspot.com/2011/04/caracteristicas-mecanicas-del-hormigon.html>. [Último acceso: 30 Diciembre 2022].

- [81] A. Fernández y J. Howland, «Métodos para determinar la resistencia característica a compresión en estructuras construidas. Estado del arte,» *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, vol. XI, n° 2, pp. 1-9, 2017.
- [82] I. K. Cuji Siguenza, «Análisis de la caña guadúa y bambú como material estructural utilizado en vigasy su incidencia en la resistencia a flexión del concreto. (Tesis de pregrado de Ingeniería),» Universidad Técnica de Ambato - Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Ambato, 2016.
- [83] E. Alario, «Cuidados del hormigón. Curado de hormigón,» ALARIO, 13 octubre 2014. [En línea]. Available: <https://enriquealario.com/curado-de-hormigon/>. [Último acceso: 2022].
- [84] V. Yepes, «¿Es el agua de mar agresiva para el hormigón?,» Universitat Politècnica de València, 26 Julio 2018. [En línea]. Available: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2018/07/26/es-el-agua-de-mar-agresiva-para-el-hormigon/>. [Último acceso: 30 Diciembre 2022].
- [85] Fundación Aquae, «¿Por qué el agua del mar es salada?,» Fundación Aquae, 21 Septiembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.fundacionaquae.org/por-que-el-agua-del-mar-es-salada/>. [Último acceso: 30 Diciembre 2022].
- [86] J. L. Vilchez Becerra, «EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO USANDO AGUA DE MAR (Tesis de Ingeniería),» Universidad Señor de Sipán, Pimentel - Perú, 2020.
- [87] H. A. Girón Vargas, «Ataque por cloruros en el concreto,» IMCYC | Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C., Octubre 1998. [En línea]. Available: <https://www.imcyc.com/revista/1998/oct/ataque.htm>. [Último acceso: 30 Diciembre 2022].

- [88] A. d. Semir de la Sotilla, «Consideraciones de diseño del hormigón en estructuras "offshore" (Tesis),» Universitat Politècnica de Catalunya, 2007.
- [89] A. Sendra, «Estudio comparativo de fibras naturales para reforzar hormigón. (Tesis de grado),» UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA - ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ARQUITECTURA, 2020.
- [90] M. Arias Páez y W. F. Rativa Vargas, «Análisis comparativo entre propiedades del concreto hidráulico simple y el reforzado con fibras de vidrio y virutas de torno. (Tesis de Ingeniería),» Universidad Santo Tomás Tunja, Tunja, 2017.
- [91] J. Cegarra, «Nuevos desarrollos en el campo de las fibras manufacturadas,» de *Conferencia I Jornadas de Información Técnica en SANDOZ*, 1970.
- [92] S. G. Vaca Uribe, «Análisis de elementos estructurales que trabajan a flexión con fibras de carbono,» Universidad Técnica de Ambato - Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Ambato, 2013.
- [93] CICLISMOAFONDO.ES, «INFORME: La fibra de carbono,» CICLISMOAFONDO.ES, 14 Agosto 2014. [En línea]. Available: [https://www.ciclismoafondo.es/reportajes-ciclismo/informe-la-fibra-de-carbono\\_37923\\_102.html](https://www.ciclismoafondo.es/reportajes-ciclismo/informe-la-fibra-de-carbono_37923_102.html). [Último acceso: 30 Diciembre 2022].
- [94] G. Alegre, «ESTUDIO DE LA INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA Y DUCTILIDAD DE LAS FIBRAS DE CARBONO UTILIZADAS COMO REFORZAMIENTO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO,» PONTIFICA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ, julio 2017. [En línea]. Available: <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/9254>. [Último acceso: 2022].
- [95] J. R. Toapanta Caisa, «Análisis de las curvas de desempeño de una viga reforzada con fibras de carbono y fibras de vidrio. (Tesis de Ingeniería),» Universidad Técnica de Ambato - Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Ambato, 2016.

- [96] TOP Carbono, «Tela de Fibra de Carbono,» TOP Carbono, 2022. [En línea]. Available: <https://topcarbono.com/tela-de-fibra-de-carbono/>. [Último acceso: 30 Diciembre 2022].
- [97] Nazza.es, «FIBRA DE CARBONO 3K TWILL,» Junio 2021. [En línea]. Available: <https://www.nazza.es/img/cms/FT%20-%20Fibra%20de%20carbono%203K%20TWILL.pdf>. [Último acceso: 30 Diciembre 2022].
- [98] PEGAUCHO S.A.S, «Ficha técnica de producto - Pegaucho XL Tradicional,» [En línea]. Available: <https://pegaucho.com/producto/xl-497/>. [Último acceso: 30 Diciembre 2022].
- [99] QuestionPro, «Métodos de investigación: Qué son y cómo elegirlos,» QuestionPro, 2022. [En línea]. Available: <https://www.questionpro.com/blog/es/metodos-de-investigacion/>. [Último acceso: 30 Diciembre 2022].
- [100] Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), «NTE INEN 1576: Hormigón de cemento hidráulico. Elaboración y curado en obra de especímenes para ensayo,» 20 Enero 2011. [En línea]. Available: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1576.pdf>. [Último acceso: 13 Mayo 2020].

Anexos

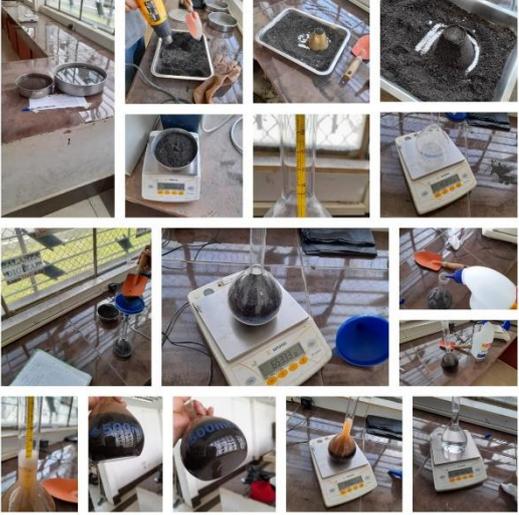
Anexos Fotográficos

Tabla 54. Ensayo de análisis granulométrico

	
<p><b>Fotografía 3.</b> Agregado grueso de tamaño nominal máximo de 19 mm</p>	<p><b>Fotografía 4.</b> Agregado fino a ser ensayado</p>
	
<p><b>Fotografía 5.</b> Granulometría del agregado grueso</p>	<p><b>Fotografía 6.</b> Granulometría del agregado fino</p>

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

**Tabla 55.** Ensayo de densidad real y capacidad de absorción de los agregados

	
<p><b>Fotografía 7.</b> Densidad real del agregado grueso</p>	<p><b>Fotografía 8.</b> Densidad real del agregado fino</p>
	
<p><b>Fotografía 9.</b> Capacidad de absorción del agregado grueso</p>	<p><b>Fotografía 10.</b> Capacidad de absorción del agregado fino</p>

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

**Tabla 56.** Ensayo de densidad real del cemento



**Fotografía 11.** Densidad real del cemento

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

**Tabla 57.** Ensayo de densidad aparente suelta y compactada del agregado grueso



**Fotografía 12.** Densidad aparente suelta y compactada del agregado grueso

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

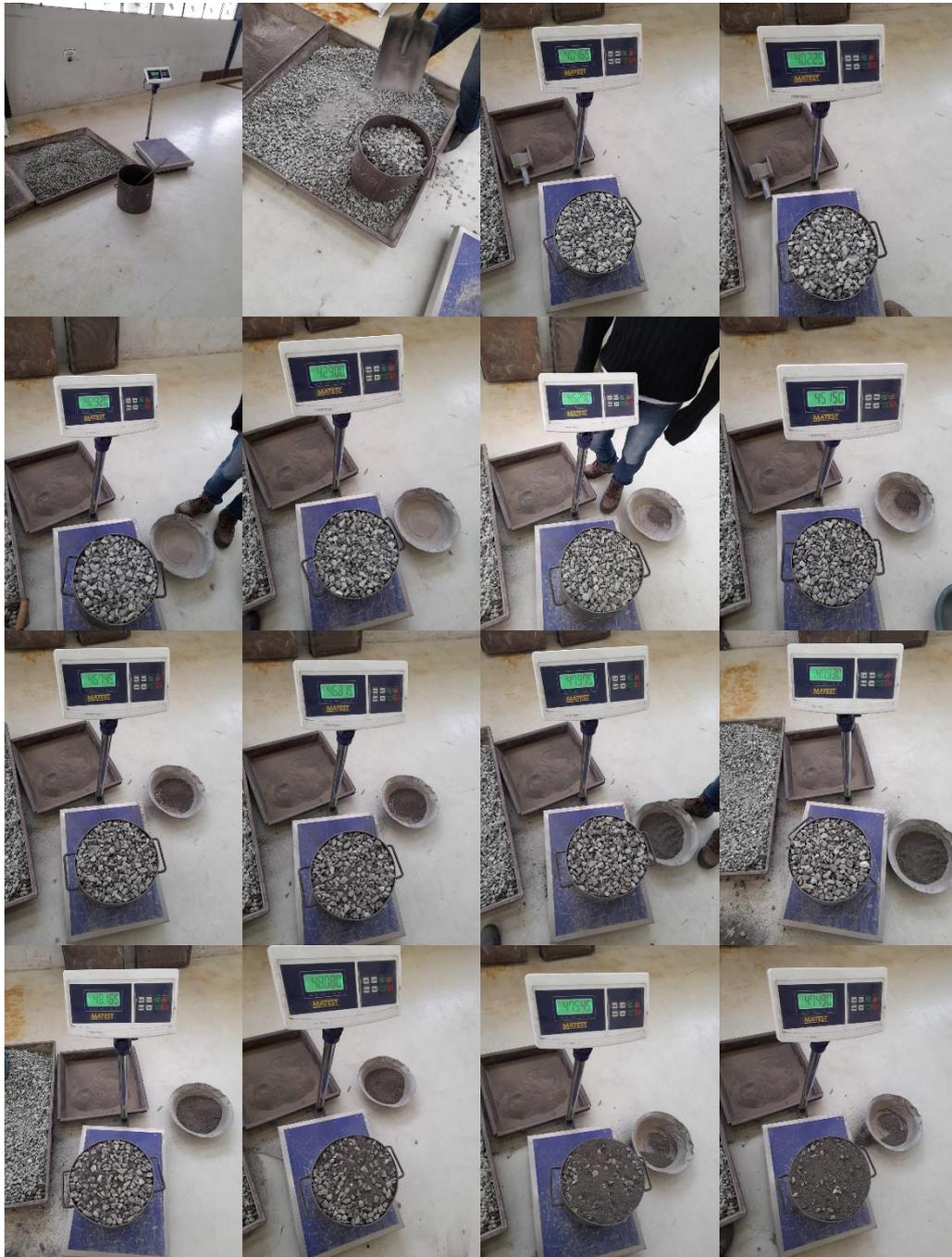
**Tabla 58.** Ensayo de densidad aparente suelta y compactada del agregado fino



**Fotografía 13.** Densidad aparente suelta y compactada del agregado fino

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

**Tabla 59.** Ensayo de densidad aparente compactada de la mezcla de agregado grueso y agregado fino



**Fotografía 14.** Densidad aparente compactada de la mezcla de agregado grueso y agregado fino

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

**Tabla 60.** Ensayo de contenido de humedad

	
<p><b>Fotografía 15.</b> Peso del agregado fino con contenido de humedad</p>	<p><b>Fotografía 16.</b> Peso del agregado fino en estado seco</p>
	
<p><b>Fotografía 17.</b> Peso del agregado grueso con contenido de humedad</p>	<p><b>Fotografía 18.</b> Peso del agregado grueso en estado seco</p>

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

**Tabla 61.** Preparación de la mezcla de concreto



**Fotografía 19.** Materiales para elaborar la mezcla de concreto



**Fotografía 20.** Moldes de acero para cilindros de hormigón



**Fotografía 21.** Preparación de los moldes



**Fotografía 22.** Mezcla de hormigón

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

**Tabla 62.** Determinación del Asentamiento



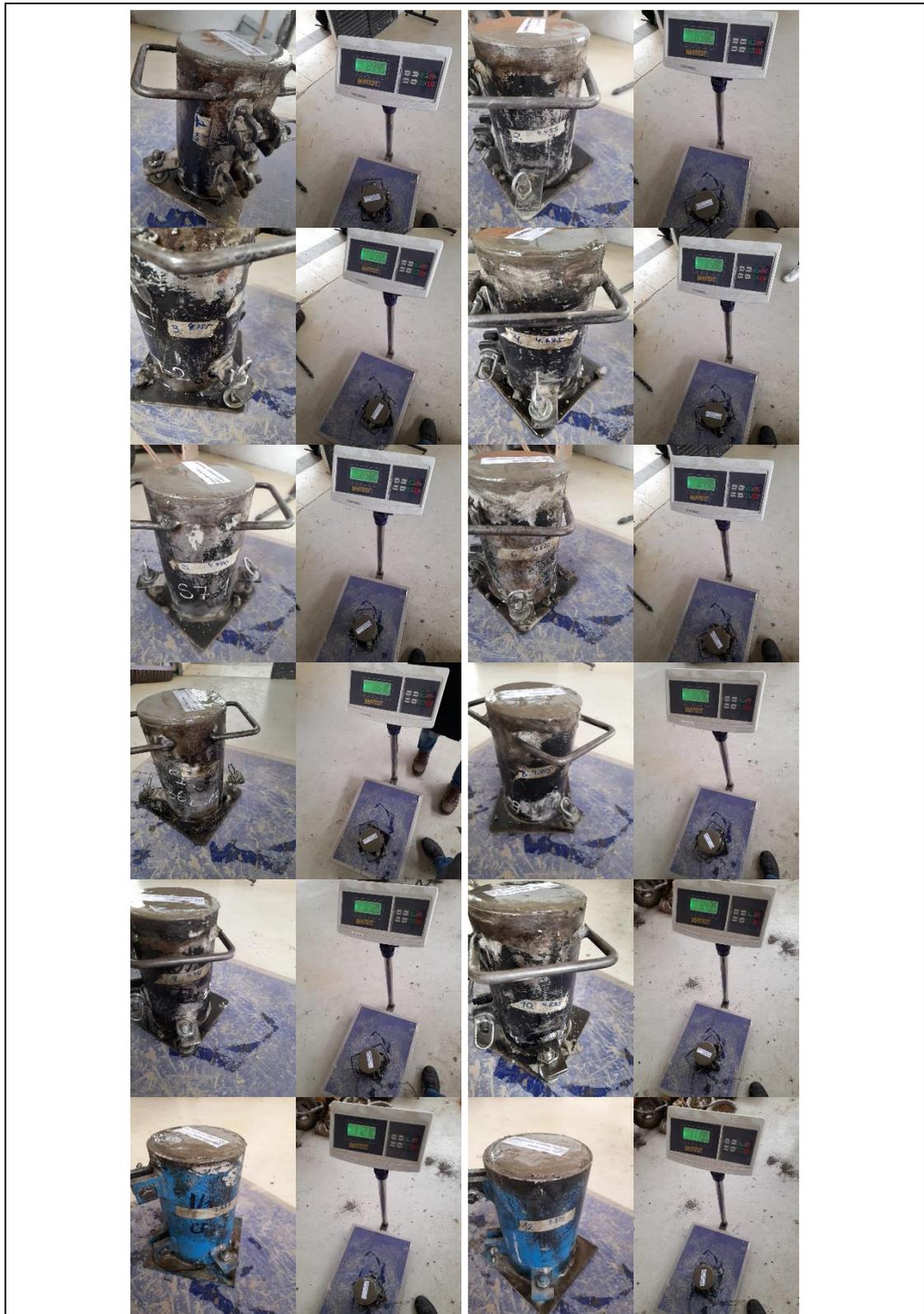
**Fotografía 23.** Ensayo de Cono de Abrams



**Fotografía 24.** Medición del Asentamiento

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

**Tabla 63.** Determinación de la densidad del concreto en estado fresco



**Fotografía 25.** Registro de pesos de los moldes con el hormigón en estado fresco

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

**Tabla 64.** Elaboración de las probetas de hormigón



**Fotografía 26.** Colocación del hormigón por capas



**Fotografía 27.** Reposo de los moldes con el concreto fresco para el curado inicial



**Fotografía 28.** Desencofrado de los cilindros de hormigón



**Fotografía 29.** Curado de las probetas de hormigón

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

**Tabla 65.** Determinación de la densidad del concreto en estado endurecido

	
<p><b>Fotografía 30.</b> Retiro de los cilindros de hormigón de la cámara de curado</p>	<p><b>Fotografía 31.</b> Medición y registro de las dimensiones de los cilindros de hormigón en estado endurecido</p>
	
<p><b>Fotografía 32.</b> Registro de los pesos de las probetas de hormigón en estado endurecido</p>	

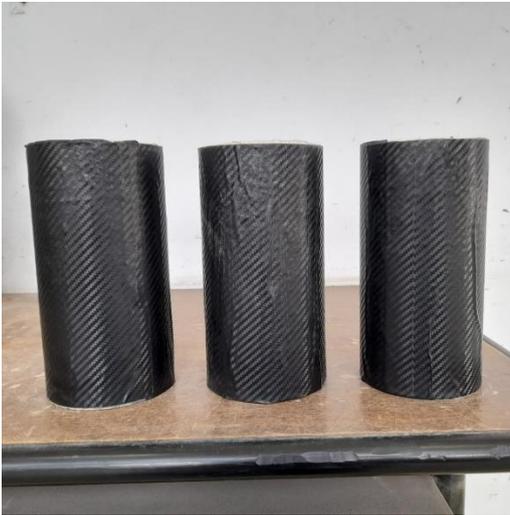
Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

**Tabla 66.** Colocación de la fibra de carbono en los cilindros de hormigón

	
<p><b>Fotografía 33.</b> Retiro de los cilindros de hormigón de la cámara de curado</p>	<p><b>Fotografía 34.</b> Impregnación del adhesivo en base a resinas tanto en el hormigón como en la fibra de carbono</p>
	
<p><b>Fotografía 35.</b> Reposo de los cilindros de hormigón y de las fibras de carbono impregnados del adhesivo en base a resinas</p>	<p><b>Fotografía 36.</b> Colocación de la fibra de carbono en la probeta de concreto</p>

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

**Tabla 67.** Determinación de la densidad del concreto en estado endurecido reforzado con fibra de carbono

	
<p><b>Fotografía 37.</b> Espera de un lapso de tiempo para que el adhesivo alcance la mayor fuerza de unión posible entre el hormigón y la fibra de carbono</p>	<p><b>Fotografía 38.</b> Medición y registro de las dimensiones de los cilindros de hormigón en estado endurecido reforzado con fibra de carbono</p>
	
<p><b>Fotografía 39.</b> Registro de los pesos de las probetas de hormigón en estado endurecido reforzado con fibra de carbono</p>	

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

**Tabla 68.** Colocación de las probetas de hormigón seleccionadas para exponerlas en agua con sal

	
<p><b>Fotografía 40.</b> Recipientes para el agua con sal</p>	<p><b>Fotografía 41.</b> Colocación de las probetas en los recipientes que contienen agua con sal</p>
	
<p><b>Fotografía 42.</b> Medición de las dimensiones de los cilindros del concreto</p>	<p><b>Fotografía 43.</b> Registro de los pesos de las probetas de hormigón</p>

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana

**Tabla 69.** Ensayos a Compresión

	
<p><b>Fotografía 44.</b> Ensayo a compresión a las probetas de hormigón simple</p>	<p><b>Fotografía 45.</b> Ensayo a compresión a las probetas de hormigón reforzado con fibra de carbono</p>
	
<p><b>Fotografía 46.</b> Esquema de falla del hormigón simple</p>	<p><b>Fotografía 47.</b> Esquema de falla del hormigón reforzado con fibras de carbono</p>

Fuente: Trabajo Experimental – Carlos Alberto Tisalema Tasigchana