



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE  
GUAYAQUIL  
FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN  
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**TEMA:**

**HORMIGÓN CON FIBRA DE ACERO Y CAUCHO  
RECICLADO PARA MITIGACIÓN AMBIENTAL EN EL  
SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN DE GUAYAQUIL**

**TUTOR:**

**ING. MAX ALMEIDA. MSc.**

**AUTORA:**

**MARY CARMEN ROBAYO SARMIENTO**

**GUAYAQUIL**

**2022**



## REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

### FICHA DE REGISTRO DE TESIS

**TÍTULO:**

Hormigón con fibra de acero y caucho reciclado para mitigación ambiental en el sector de la construcción de Guayaquil.

**AUTOR/ES:**

Robayo Sarmiento Mary Carmen

**REVISORES O TUTORES:**

MSc. Max Almeida Ing.

**INSTITUCIÓN:**

Universidad Laica Vicente Rocafuerte  
de Guayaquil

**Grado obtenido:**

Tercer nivel de grado

**FACULTAD:**

FACULTAD DE INGENIERÍA,  
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

**CARRERA:**

INGENIERÍA CIVIL

**FECHA DE PUBLICACIÓN:**

2022

**N. DE PAGS:**

95

**ÁREAS TEMÁTICAS:**

Arquitectura y Construcción

**PALABRAS CLAVE:** Normativa, Hormigón, Dosificaciones, Procesos Constructivos.

**RESUMEN:**

El presente trabajo de investigación presenta una problemática con respecto a una gran cantidad de cauchos y sus fibras de acero, las cuales se encuentran fuera de uso y están ocasionando una acumulación de residuos que coloca en riesgo la preservación del ambiente en la ciudad y sus habitantes. Al respecto, se plantea una pregunta sobre ¿cómo contribuirá la incorporación de una mezcla de hormigón con fibra de acero y caucho reciclado a la mitigación ambiental en el sector de la construcción de Guayaquil?, lo que conlleva a un objetivo general sobre: elaborar una mezcla de hormigón con fibra de acero y caucho reciclado para contribuir con la mitigación ambiental en el sector de la construcción de Guayaquil. Para lo cual se pretende desarrollar una investigación de tipo experimental, empleando técnicas e instrumentos que permitirán recolectar información. Como resultado final, se espera la viabilidad de la mezcla de hormigón donde pueda develarse que posee características similares a las de una mezcla de hormigón tradicional y así poder dar una posible solución para la conservación del ambiente.

**N. DE REGISTRO (en base de datos):****N. DE CLASIFICACIÓN:****DIRECCIÓN URL (tesis en la web):****ADJUNTO PDF:****SI****NO****CONTACTO CON AUTOR/ES:**

Robayo Sarmiento Mary Carmen

**Teléfono:**

0990955021

**E-mail:**

maryrs\_12@outlook.com

mrobayos@ulvr.edu.ec

**CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:**MAE. Ing. Milton Andrade; Decano de la  
Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción**Teléfono:** (04) 2596500 **Ext.** 241**E-mail:** mandradel@ulvr.edu.ec

# CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO ACADÉMICO

## CERTIFICADO DE PLAGIO

### HORMIGÓN CON FIBRA DE ACERO Y CAUCHO RECICLADO PARA MITIGACIÓN AMBIENTAL EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN DE GUAYAQUIL

ROBAYO MA.CARMEN

---

INFORME DE ORIGINALIDAD

---

**5**%

INDICE DE SIMILITUD

**5**%

FUENTES DE INTERNET

**1**%

PUBLICACIONES

**0**%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

---

ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

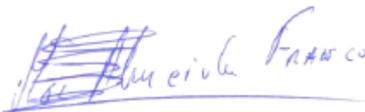
---

1%

★ [www.journaltocs.ac.uk](http://www.journaltocs.ac.uk)

Fuente de Internet

---



---

**ING. Max Almeida. MSc.  
PROFESOR TUTOR**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES**

La egresada MARY CARMEN ROBAYO SARMIENTO, declara bajo juramento, que la autoría del presente proyecto de investigación, Hormigón con fibra de acero y caucho reciclado para mitigación ambiental en sector de la construcción de Guayaquil, corresponde totalmente a lo suscrito y me responsabilizo con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedo los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, según los establece la normativa vigente.

Autora



Firma:

MARY CARMEN ROBAYO SARMIENTO

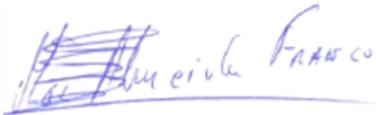
C.I. 0928542729

## **CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutor del Proyecto de Investigación “HORMIGÓN CON FIBRA DE ACERO Y CAUCHO RECICLADO PARA MITIGACIÓN AMBIENTAL EN SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN DE GUAYAQUIL”, designado por el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcciones de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

### **CERTIFICO:**

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Proyecto de Investigación titulado: (Hormigón con fibra de acero y caucho reciclado para mitigación ambiental en sector de la construcción de Guayaquil), presentado por la estudiante MARY CARMEN ROBAYO SARMIENTO, como requisito previo, para obtener el título de INGENIERO CIVIL, encontrándose apta para su sustentación.



Firma:

ING. MAX ALMEIDA. MSc.

C.I.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi Padre Celestial, mis padres terrenales, por ser mi inspiración y motivación.

*Mary Carmen Robayo Sarmiento*

## **DEDICATORIA**

A mi Padre Cristóbal Robayo Echeverría.

*Mary Carmen Robayo Sarmiento*

## INDICE GENERAL

<b>FICHA DE REGISTRO DE TESIS</b>	<b>II</b>
<b>CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO ACADÉMICO</b>	<b>IV</b>
<b>DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES</b>	<b>V</b>
<b>CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR</b>	<b>VI</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b>	<b>VII</b>
<b>DEDICATORIA</b>	<b>VIII</b>
<b>INDICE GENERAL</b>	<b>IX</b>
<b>INDICE DE TABLA</b>	<b>XII</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b>	<b>XIII</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>2</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	<b>3</b>
<b>DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>3</b>
1.1 Tema	3
1.2 Planteamiento del problema	3
1.3 Formulación del problema	4
1.4 Sistematización del problema	4
1.5 Objetivos de la investigación	5
1.5.1 Objetivo general	5
1.5.2 Objetivos específicos	5
1.6 Justificación de la investigación	5
1.6.1 Justificación en lo teórico	5
1.6.2 Justificación en lo práctico	6
1.6.3 Justificación en lo metodológico	6
1.6.4 Justificación en lo social y ambiental	6
1.6.5 Justificación en lo legal	7
1.7 Delimitación o alcance de la investigación	7
	ix

1.8 Hipótesis	8
1.9 Variables	8
1.9.1 Variable Independiente	8
1.9.2 Variable Dependiente	8
1.10 Línea de investigación	8
<b>CAPITULO II</b>	<b>9</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>9</b>
2.1 Marco Teórico	9
2.1.1 Datos generales	9
2.2 Antecedentes	11
2.3 Marco referencial	15
2.3.1 Hormigón tradicional	15
2.3.1.1 Propiedades del hormigón	16
2.3.1.2 Durabilidad	16
2.3.1.3 Propiedades del hormigón fresco	17
2.3.1.4 Retracción del hormigón	18
2.3.1.5 Tipos de Hormigón, aplicaciones y propiedades	18
2.3.1.6 Hormigón reforzado con fibra de acero (SFRC)	24
2.3.1.7 Características del hormigón con fibra de acero	25
2.3.1.8 Propiedades mecánicas del hormigón	26
2.3.1.9 Diagrama tensión - deformación del hormigón	27
2.3.1.10 Dosificación	28
2.3.2 El caucho	28
2.3.3 Características y tipos de caucho	29
2.3.4 Neumáticos	30
2.3.5 Reciclaje de neumáticos	30
2.3.6 Propiedades Físicas y Químicas	32
2.3.7 Proceso de reciclaje y su aplicación en la construcción e infraestructura	33
2.3.8 Reciclaje de cauchos en Ecuador y en Guayaquil	34
2.3.9 Fibra de acero	36
2.4 Marco conceptual (Definición de términos básicos)	38

2.5 Marco Legal	40
<b>CAPITULO III</b>	<b>43</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO</b>	<b>43</b>
3.1 Tipo de investigación	45
3.2 Enfoque de la investigación	46
3.3 Técnicas e instrumentos	46
3.3.1 Técnicas	46
3.3.2 Instrumentos	47
3.4 Población y muestra	47
3.5 Cronograma general del trabajo de titulación	48
<b>CAPITULO IV</b>	<b>49</b>
<b>PROPUESTA</b>	<b>49</b>
4.1 Tema	49
4.2 Desarrollo de la propuesta	49
4.3 Diseño del hormigón de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	49
4.4 Selección de porcentajes de fibras de acero y caucho reciclado	51
4.5 Elaboración de la mezcla	56
4.6 Elaboración de cilindros	57
4.7 Ensayos a la compresión	62
4.7 Análisis de resultados	64
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>65</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>66</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>67</b>
<b>ANEXO 1: ENSAYOS GRANULOMÉTRICOS</b>	<b>70</b>
<b>ANEXO 2: DISEÑO DEL HORMIGÓN HIDRÁULICO <math>F'C=210 \text{ KG/CM}^2</math></b>	<b>76</b>
<b>ANEXO 3: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A COMPRESIÓN</b>	<b>79</b>

## INDICE DE TABLA

<i>Tabla 1.</i> Línea de investigación de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte .....	8
<i>Tabla 2.</i> Cronograma general del trabajo de titulación .....	48
<i>Tabla 3.</i> Características físicas de los agregados .....	51
<i>Tabla 4.</i> Dosificaciones de hormigones .....	52
<i>Tabla 5.</i> Peso de caucho reciclado y fibra de acero a incorporarse en cada mezcla .....	52
<i>Tabla 6.</i> Resumen de pesos (Kg) de los materiales para los diferentes porcentajes. ....	56
<i>Tabla 7.</i> Resultados de ensayo a compresión en cilindros .....	62
<i>Tabla 8.</i> Resultados de ensayo a compresión en cilindros a los 28 días .....	64

## INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Modelo del cono de Abrams y valores límites de los asentos .....	17
<i>Figura 2.</i> Valores límites de los asentamientos (cm) según la consistencia .....	18
<i>Figura 3.</i> Fisura de retracción .....	18
<i>Figura 4.</i> Mezcla de hormigón .....	19
<i>Figura 5.</i> Hormigón drenante .....	20
<i>Figura 6.</i> Hormigón autocompactante .....	21
<i>Figura 7.</i> Hormigón ligero.....	22
<i>Figura 8.</i> Cuadro de recomendaciones de proporciones para dosificaciones de SFRC. ....	26
<i>Figura 9.</i> Rotura de la probeta. Se muestra la probeta antes y después de romper .....	26
<i>Figura 10.</i> Ensayos para la determinar la resistencia a la tracción del hormigón .....	27
<i>Figura 11.</i> Diagrama noval tensión-deformación del hormigón .....	28
<i>Figura 12.</i> Propiedades físicas del caucho.....	32
<i>Figura 13.</i> Parque automotor 2016.....	35
<i>Figura 14.</i> Características de las fibras.....	37
<i>Figura 15:</i> Piedra y arena empleados en la mezcla de hormigón .....	50
<i>Figura 16:</i> Cemento UG y agua empleados en la mezcla de hormigón .....	50
<i>Figura 17:</i> Caucho granulado, obtenido de neumáticos. ....	53
<i>Figura 18:</i> Fibras de acero, obtenida de neumáticos. ....	53
<i>Figura 19:</i> Obtención de fibra de caucho y acero reciclado de llantas.....	54
<i>Figura 20:</i> Mezcla del Hormigón tradicional $f^c= 210\text{kg/cm}^2$ .....	56
<i>Figura 21:</i> Mezcla del Hormigón con adiciones de fibras de acero y caucho reciclado. ....	57
<i>Figura 22:</i> Ensayo del cono de Abrams para mezcla de hormigón tradicional.....	58
<i>Figura 23:</i> Ensayo del cono de Abrams para mezclas con caucho reciclado y fibra .....	58
<i>Figura 24:</i> Preparación de cilindros .....	59
<i>Figura 25:</i> Probetas de cilindros.....	60
<i>Figura 26:</i> Desencofrado de Cilindros, identificación, fecha del muestreo. ....	60
<i>Figura 26:</i> Curado de Cilindros.....	61
<i>Figura 27:</i> Traslado de Cilindros al laboratorio. ....	61

<b>Figura 27:</b> Rotura de Cilindros.....	62
<b>Figura 28:</b> Curvas de resistencias a la compresión vs tiempo.....	63
<b>Figura 29:</b> Resistencias a la compresión por porcentajes.....	63

## **RESUMEN**

En Ecuador los residuos de caucho y acero constituyen un impacto ambiental a gran escala, sin embargo, lo que en el presente estudios se propone resulta analizar de una forma comparativa el hormigón tradicional y hormigón con fibra de acero y caucho reciclado bajo diferentes dosificaciones, para ello se declara que esta investigación es de carácter cuantitativa, ya que el enfoque que se estima es el experimental, es decir, se utilizará el método inductivo, el deductivo y el estadístico para llegar a los resultados, se analizarán los experimentos a razón de las técnicas de ensayos de laboratorios y pruebas experimentales. Los resultados obtenidos se medirán sobre la base de las contrastaciones de la compresión y la dosificación de los cilindros de hormigones. Llegando a la conclusión que al analizar la fibra de acero y caucho reciclado presenta propiedades similares al hormigón tradicional, los rangos de incorporación de estos materiales oscilan de 5 a 10%, la comparación de materiales demuestra que la resistencia iguala al diseño solo en un 3% se aligera con respecto al diseño de la mezcla. Por lo tanto, se recomienda utilizar este tipo de materiales en la fabricación del hormigón.

**Palabras Clave:** Hormigón, Fibra de Acero y Caucho.

## INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, es de gran interés el alto índice de contaminación ambiental, en donde la acumulación de productos no degradables afectan el equilibrio ecológico. Ante esta preocupación, el reciclaje constituye un elemento importante en la conservación del medio ambiente.

En este sentido, hoy por hoy el reciclado de materiales como lo son el caucho y la fibra de acero por ejemplo, estos podrían ser incorporados a las mezclas de hormigón, debido a que este último presenta características que deben ser reforzadas mediante la adición de nuevos materiales que lo hagan más resistente.

Por lo antes señalado, la presente investigación busca en primera instancia realizar determinaciones sobre el proceso de reciclaje y como este puede contribuir a la mitigación ambiental en el contexto ecuatoriano, específicamente en Guayaquil, y en segundo lugar, proponer a partir del análisis de estos dos materiales reciclados en la elaboración del hormigón bajo diferentes dosificaciones, y que permita elevar las características de este producto en el sector de la construcción.

Para efectos, esta investigación será estructurada en cuatro capítulos que desarrollaran toda la fundamentación teórica y metodológica empleada. Es así que el primer capítulo enfatiza la situación problemática que aborda la justificación y los objetivos que se persiguen.

En el segundo capítulo, se realiza todo el andamiaje teórico en la que se argumentan todos los fundamentos conceptuales que han caracterizado los tipos de hormigones y de qué manera se categorizan las nuevas definiciones emergidas a partir del proceso de experimentación.

Para el tercer capítulo, se redacta la metodología empleada, las técnicas y los instrumentos usados para los ensayos de laboratorio.

Y finalmente, el cuarto capítulo, refiere a la presentación de una propuesta en donde se indican las dosificaciones de las mezclas, ensayos y el análisis de los resultados.

# CAPÍTULO I

## DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.1 Tema

Hormigón con fibra de acero y caucho reciclado para mitigación ambiental en el sector de la construcción de Guayaquil.

### 1.2 Planteamiento del problema

El alto índice de contaminación ambiental es una de las problemáticas a nivel mundial, donde residuos como la fibra de acero y el caucho se acumulan, afectando el equilibrio ecológico al ser productos no degradables.

Por otro lado, el hormigón es un material de alta dureza y perdurable en el tiempo, aunque tiene el problema de que es quebradizo, por lo que tiende a romperse o agrietarse y por tanto requiere de refuerzos. Para ello, se han estado utilizando desde la antigüedad, las fibras en el concreto como material complementario y una de las que ha tenido mayor impulso en los últimos años, es la fibra de acero, la cual se recicla de la industria metal mecánica, donde se generan residuos con formas laminares de aceros de alta resistencia y de otros usos industriales, donde una de las fuentes principales es la fibra de acero de los neumáticos que ya no se utilizan.

Al respecto, Peláez y otros (2016), mencionan que “la generación de residuos de caucho se ha convertido en una preocupación global por su impacto negativo en el medio ambiente y en la salud humana” (p.1). Por lo que, la contaminación surge cuando se produce un desequilibrio, provocando efectos adversos que afectan al medio ambiente y daños severos a la salud.

El creciente uso cotidiano de medios de transporte a nivel global, demanda de diversas autopartes y repuestos, los que al fin de su ciclo de vida son desechados (Nazer y otros, 2017). Lo que incrementa considerablemente en el país y más específicamente en Guayaquil, con la gran cantidad de cauchos y sus fibras de acero fuera de uso, ocasionando una problemática de acumulación que coloca en riesgo la conservación ambiental del entorno de la ciudad y sus habitantes.

En este sentido, en Guayaquil, se ha visto en la necesidad de optar por el reciclado de neumáticos teniendo en cuenta que solo se aprovecha un porcentaje de éstos; en específico, para ser reutilizados en el sector de la construcción o en proyectos medioambientales, mitigando así el impacto ambiental, creando nuevas fuentes de empleo y reforzando la economía desde la localidad.

Ahora bien, dentro del sector de la construcción se utilizan varios tipos de hormigones, dependiendo de los requerimientos de usos constructivos y necesarios al momento de hormigonar. Entre los diferentes hormigones, se tiene el hormigón simple, el cual está compuesto por cemento portland, agregado fino, agregado grueso y agua, el cual es utilizado sobre el suelo o soportados por otros elementos estructurales capaces de proveer un apoyo vertical continuo.

Así, el comportamiento del hormigón simple, se encuentra entre las soluciones que se maneja con la incorporación del reciclaje de las fibras de acero y el caucho, diseñando un hormigón que satisfagan las características que se requieren para elaborar un hormigón de alta resistencia, que cumpla con las normativas para ser usado en: contrapiso, aceras y pisos industriales, el cual será sometido a ensayos de compresión y flexión.

### **1.3 Formulación del problema**

¿Cómo contribuirá la incorporación de una mezcla de hormigón con fibra de acero y caucho reciclado a la mitigación ambiental en el sector de la construcción de Guayaquil?

### **1.4 Sistematización del problema**

- ¿Cuál es el comportamiento de las fibras de acero y caucho al emplearse en las mezclas de hormigón?
- ¿Cuál será la cantidad necesaria de fibras de acero y caucho reciclado para incorporar en el hormigón?
- ¿Se logrará mejorar las propiedades mecánicas de la mezcla de hormigón con fibra de acero y caucho reciclado respecto a la mezcla de hormigón tradicional o simple?

## **1.5 Objetivos de la investigación**

### **1.5.1 Objetivo general**

- Elaborar una mezcla de hormigón con fibra de acero y caucho reciclado para contribuir con la mitigación ambiental en el sector de la construcción de Guayaquil.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Analizar la fibra de acero y caucho reciclado para la elaboración de la mezcla de hormigón.
- Determinar mediante ensayos de laboratorio, la dosificación de fibra de acero y caucho reciclado.
- Comparar los resultados del hormigón propuesto con el hormigón tradicional o simple.

## **1.6 Justificación de la investigación**

Desde la postura realista de la preservación ambiental desde el sector de la construcción, la cual impacta en las comunidades y el desarrollo de las ciudades, se justifica este trabajo desde lo: teórico, práctico, metodológico, social/ambiental y legal, a saber:

### **1.6.1 Justificación en lo teórico**

Es importante innovar, obtener resultados desde materiales conocidos agregando alternativas como la propuesta de incorporar las fibras de caucho y del acero extraído de éstos, para aplicar en el sector construcción, cumpliendo con las normativas estipuladas para ser utilizadas en infraestructura y los aspectos técnicos requeridos para su implementación. Aunado a que se puede desarrollar una mezcla de hormigón que sea sustentable, con la finalidad de contribuir con la mitigación ambiental.

De esta manera, la investigación surge de la aplicación de los conocimientos adquiridos durante la carrera y así desarrollar una mezcla de hormigón que cumpla los estándares requeridos, tomando en cuenta que el acero se puede reciclar sin perder sus características, siendo el material más reciclado con un 85% para la construcción, es por ello que en el presente trabajo se plantea reciclar las fibras de acero extraídas de los

mismas neumáticos recicladas con el único fin de mitigar el impacto ambiental, siendo estos materiales difíciles de degradar naturalmente.

### **1.6.2 Justificación en lo práctico**

Se realizará un diseño de una mezcla de hormigón sustentable de acuerdo a la cantidad de fibras de acero y caucho reciclado, para incorporarlos en diferentes porcentajes, como materiales de construcción, en conjunto con el cemento, arena, piedra. Dichos materiales, deben pasar principalmente por una reducción en el tamaño máximo del árido, además menores valores de relación grava-arena de acuerdo las dosificaciones requeridas para una resistencia de:  $210 \text{ kg/cm}^2$  y realizar los ensayos de laboratorio a las edades de: 7, 14 y 28 días. Y posteriormente compararlos con la mezcla de hormigón tradicional, cuyos resultados indicarán la factibilidad y viabilidad dentro del sector de la construcción.

Por tanto, esta investigación contribuirá de acuerdo a sus resultados finales a una opción de un modelo o guía para toda persona que tenga el oficio o profesional de la construcción, donde se puedan en el futuro desarrollar dosificaciones de este tipo de mezcla que cumplan con lo establecido en la normativa vigente.

### **1.6.3 Justificación en lo metodológico**

Este estudio proporciona aspectos relevantes al uso metodológico del enfoque cuantitativo y cualitativo (mixto), mediante una investigación experimental, bajo el método deductivo e inductivo.

### **1.6.4 Justificación en lo social y ambiental**

Se justifica a nivel social, dado que el desarrollo de la investigación tendrá un impacto positivo en el sector de la construcción para establecer que las mezclas de hormigón con fibras de acero y caucho, pudieren ser técnicamente viables en un futuro para ser utilizados en pisos industriales, contrapisos y aceras.

Por otro lado, se desarrolla el estudio para el mejoramiento y preservación del ambiente, retirando dos elementos que influyen en la contaminación, al ser incorporados en

el sector de la construcción como una alternativa innovadora para una mezcla de hormigón, que contribuya a un equilibrio ambiental.

### **1.6.5 Justificación en lo legal**

El trabajo se justifica en lo legal, dado que en primer lugar se fundamenta en los objetivos que plantea el Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021, el cual menciona entre sus ejes temáticos y de acción, en el objetivo 3, sobre: garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones, apartado 3.7 que refiere a: incentivar la producción y consumo ambientalmente responsable, con base en los principios de la economía circular y bio-economía, fomentando el reciclaje y combatiendo la obsolescencia programada; así como en el objetivo 5 sobre: impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sostenible de manera redistributiva y solidaria, apartado 5.6 que menciona: promover la investigación, la formación, la capacitación, el desarrollo y la transferencia tecnológica, la innovación y el emprendimiento, la protección de la propiedad intelectual, para impulsar el cambio de la matriz productiva mediante la vinculación entre el sector público, productivo y las universidades.

Por otro lado, con los resultados de la propuesta, se puede innovar a través del desarrollo de una nueva alternativa de mezcla de hormigón para elementos de infraestructura específicos que puedan cumplir con los estándares establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE) de la Construcción (s/f) y al mismo tiempo gestionar el uso de elementos que son contaminantes para el entorno de Guayaquil como estrategia para mitigar el ambiente en la ciudad.

### **1.7 Delimitación o alcance de la investigación**

<b>Campo:</b>	Educación Superior. Tercer nivel de grado
<b>Área:</b>	Ingeniería civil
<b>Aspecto:</b>	Investigación exploratoria.
<b>Tema:</b>	Hormigón con fibra de acero y caucho reciclado para la mitigación ambiental en la Ciudad de Guayaquil.
<b>Delimitación espacial:</b>	Guayaquil, Guayas
<b>Delimitación temporal:</b>	6 meses

## 1.8 Hipótesis

Las características mecánicas de las mezclas de hormigón con fibra de acero y caucho para la mitigación ambiental en la Ciudad de Guayaquil, son similares a las características mecánicas de las mezclas de hormigón tradicional o simple.

## 1.9 Variables

### 1.9.1 Variable Independiente

Elaboración de mezcla de hormigón con fibra de acero y caucho reciclado

### 1.9.2 Variable Dependiente

Para la mitigación del ambiente en el sector construcción de Guayaquil

## 1.10 Línea de investigación

*Tabla 1:*

Línea de investigación de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte

<b>LÍNEA DE INVESTIGACIÓN</b>		
<b>ULVR</b>	<b>FIIC</b>	<b>Sublínea</b>
<b>Urbanismo y ordenamiento territorial aplicando tecnología de construcción eco-amigable, industria y desarrollo de energías renovables</b>	Materiales de Construcción	Materiales innovadores en la construcción

*Fuente:* Universidad Laica Vicente Rocafuerte (2020)

*Elaborado por:* Robayo, M. (2021)

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Marco Teórico**

##### **2.1.1 Datos generales**

El hormigón en la actualidad, es uno de los materiales de construcción más utilizados a nivel mundial. Es una agrupación entre varios materiales, como lo son el cemento, agua, piedra y arena, constituyéndolo como un elemento de alta resistencia a la compresión.

Uno de los principales componentes de la mezcla de hormigón es el cemento. Se puede utilizar cualquier tipo de cemento que cumpla los requisitos establecidos para una mezcla de hormigón tradicional, siempre que sea capaz de proporcionar al hormigón las características del diseño. En nuestro país la norma que rige los cementos hidráulicos es la Norma Técnica Ecuatoriana, las mismas que hacen énfasis al cemento portland en las Norma INEN 152.

El agua es otro componente fundamental de la mezcla, el cual debe cumplir con requisitos mínimos para la elaboración de hormigones tradicionales, poniéndole énfasis a cualquier agente que pudiera afectar la mezcla. Cabe mencionar que, la relación de agua/cemento tiene incidencia directa con la resistencia a la compresión del hormigón.

Los áridos para la mezcla de hormigón deben cumplir los requerimientos de composición, resistencia, durabilidad y que estén libre de sustancias perjudiciales, además deben tener unos tamaños y formas adecuadas para poder ser empleados en la mezcla de hormigón.

Una de las características mecánicas principales que posee el hormigón es la resistencia a la compresión. La que se determina como la capacidad de resistir una carga por unidad de área, expresada en términos de esfuerzos. En nuestro país se utiliza la Norma INEN 1 573 para la determinación de la resistencia a la compresión, mediante ensayos de rotura a especímenes cilíndricos, que son muestras tomadas de las mezclas de hormigón.

Por otro lado, se tienen elementos que sirven de refuerzo para mejorar ciertas características de las mezclas de hormigón. Un ejemplo de esto son las fibras de acero, que son elementos que se adicionan a la mezcla con el fin de ayudarles a disminuir la fisuración, incrementar su durabilidad o ganar resistencia a la tracción, entre otros.

La efectividad del refuerzo matriz-fibras, exige a las fibras las siguientes propiedades:

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

Las convenciones empleadas para describir las fibras geométricamente son:

- $l_f$ : longitud de la fibra (mm).
- $d$ : diámetro o diámetro equivalente de la fibra (mm).
- $\lambda$ : esbeltez o relación de aspecto de la fibra ( $l/d$ ).
- $A_f$ : área de la sección transversal de la fibra ( $mm^2$ ).

Ensayos previos a la puesta en obra son indispensables sobre todo cuando se combinen adiciones, aditivos y fibras, ya que la efectividad de los componentes al combinarse es desconocida.

En la actualidad se fabrican miles de artículos de caucho para diferentes usos, siendo el caucho ampliamente empleado en la fabricación de neumáticos, artículos impermeables y aislante. Siendo un material con altas propiedades de elasticidad y resistencia ante los ácidos y las sustancias alcalinas.

De acuerdo a datos de la Industria Recicladora de caucho ECOCAUCHO S.A. (2021), en los últimos 8 años han reciclado alrededor de 717,075 NFU (Neumáticos Fuera de Uso), lo que equivale a llenar con llantas 20 kilómetros de carretera o 55 estadios de fútbol. En este sentido, siendo el reciclaje de llantas algo ya viable en nuestro país, se podría implementar, para la mitigación ambiental y su aplicación en el sector de la construcción.

Los neumáticos son parte de los residuos sólidos urbanos y se mantiene el hecho de ser depositados en vertederos o grandes pilas utilizadas solo para disponer este tipo de residuos. Sin embargo, esta forma de ejecución no es exacta más bien equívoco por las siguientes razones:

- El volumen que ocupan
- Complicaciones para su compactación
- Suelen ser depósitos de grandes cantidades de aire u otros gases que los transforman en boyas que pueden romper las cubiertas de los rellenos sanitarios
- Pueden ser focos para la proliferación de enfermedades.
- Algunos de los componentes presentes en los neumáticos tienen el potencial de lixiviar altos contenidos de metales pesados.

## **2.2 Antecedentes**

En cuanto a los trabajos de investigación que forman parte de los antecedentes de la variable independiente sobre la elaboración de mezcla de hormigón con fibra de acero y caucho reciclado, se pueden detallar que:

En primer lugar, se tiene a Silvestre et al. (2019): autor de la tesis titulada: Análisis del concreto con caucho como aditivo para aligerar elementos estructurales. Se interpreta que al agregar los compuestos del caucho triturado en diversos porcentajes en concreto hidráulico se puede evidenciar las mejoras en las propiedades mecánicas solo con un elevado énfasis en la disminución del peso de las estructuras de concreto que puede ser simple o reforzado.

Luego, se tiene el trabajo de tesis de Bustamante (2021), titulado: Análisis comparativo de mezclas de hormigón con ripio y mezclas de hormigón tradicional. Aquí plantea como objetivo un análisis comparativo de las características mecánicas de las mezclas de hormigón con ripio y hormigón tradicional. Para lo cual se desarrolla y se comparan las características mecánicas resultantes de dos tipos de configuración de hormigón y sus respectivas dosificaciones para las resistencias establecidas, a partir del empleo del ripio como agregado. Todo ello, para saber si resulta útil para ciertos elementos que se requieran en la construcción y puedan remplazarse del hormigón tradicional, en el

contexto de que el acceso a los materiales para este tipo de hormigón sea nulo, escaso o limitado, y como medida alterna e innovadora de materiales constructivos.

Por otro lado, este trabajo utilizó el método inductivo y deductivo, bajo una investigación de carácter experimental, con enfoque cuantitativo, fundamentando mayormente en información de la ejecución de pruebas de laboratorio para determinar los coeficientes requeridos. Posteriormente, se determinó que las mezclas de hormigón con ripio cumplen con los criterios que contempla el marco normativo para el hormigón; sin embargo, hay características que exige la normativa que se deben tomar en consideración.

En este sentido, la investigación es oportuna como antecedente, dado que se rige por los ensayos que se pretenden elaborar en la propuesta actual, así como ciertos elementos de la ruta metodológica, la cual se requiere para comparar las mezclas de hormigón simple o tradicional y el hormigón con fibra de acero y caucho reciclado.

Posteriormente, está el artículo de la investigación de Nazer y otros (2017), el cual se titula: Hormigón sustentable basado en fibras de neumáticos fuera de uso. Los autores denominan a los neumáticos fuera de uso (NFU) como residuos masivos, los que regularmente son dejados en vertederos reglamentarios o prohibidos. Este tipo de materiales se relaciona con impactos medioambientales en el uso del suelo y la contaminación, entre otros. El proceso de reciclaje logra valorizar estos desechos al componer subproductos tales como gránulos de caucho, fibras de acero y fibras textiles que sirven para aplicaciones industriales de nuevo tipo.

Según la revista internacional de contaminación ambiental uno de los objetivos de su investigación consistían en evaluar y comparar la resistencia mecánica de un hormigón sin adición (testigo) a las edades de 7, 14 y 28 días, con hormigones con adición de fibra de acero comercial, fibras de caucho y fibras de acero de llantas fuera de uso. Las dosificaciones utilizadas fueron 50 kg/m<sup>3</sup> en hormigones con fibra de acero comercial, 10.5 y 7 kg/m<sup>3</sup> en hormigones con fibras de caucho reciclado, y 50 y 35 kg/m<sup>3</sup> en hormigones con fibras de acero reciclado.

Los resultados probaron que los hormigones con adiciones de fibras de caucho y fibras de acero presentaron en todos los casos una leve disminución de la resistencia a la compresión respecto del testigo a la edad de 28 días. Por el contrario, los hormigones con adiciones de fibras de acero y fibras de caucho presentaron mejor resistencia a la flexotracción que el hormigón testigo, excepto el hormigón con dosis de 50 kg/m<sup>3</sup> de fibra de acero reciclado. (Centro de Ciencias de la Atmósfera, ciudad de México, 2019)

Este estudio, es uno de los más importantes para la presente investigación, ya que se puede detallar el proceso para el hormigón con el material reciclado y su comparación con el hormigón tradicional. Estos procesos se realizarán en este trabajo bajo diversas dosificaciones y cumpliendo las normativas para ello.

Por otro lado, se tiene como trabajo de investigación fundamental para el estudio, un artículo de Chávez et al., (2018), titulado: Influencia de la fibra de acero en el control de la tenacidad del hormigón simple. Donde los autores describen que el hormigón es un material de uso frecuente en la construcción de viviendas y edificios en el Ecuador, por tal motivo se hace necesario el estudio y la mejora de sus propiedades con el fin de brindar calidad y seguridad en las construcciones. “El hormigón es un material que por sí solo es muy frágil, necesita de aditamentos para la mejora de ciertas propiedades, como es la tenacidad. Para esto son muchos los materiales que se están estudiando, de esta lista sobresalen las fibras de acero, un material muy resistente también pero que hasta el momento solo se lo aplica para obras provisionales como revestimiento de túneles, taludes y pavimentos”.

“Uso de los objetivos del trabajo es brindar a través del conocimiento existente un aporte en cuanto al diseño de hormigón con fibras de acero para la mejora de la tenacidad ante esfuerzos de corte, en base a esto hemos estudiado las características de los agregados, la normativa existente para ensayar varias muestras que nos darán resultados para la evaluación de la tenacidad del hormigón en la ciudad de Guayaquil” (Chávez et al., 2018). También se analizan y ensayan otras características del hormigón y su resistencia a la compresión y flexión (módulo de rotura), las cuales contribuyen con datos para optimizar los diseños.

Y ciertamente, este trabajo, aportará a la investigación que se desarrollará, elementos de los ensayos a realizar hasta obtener un material óptimo que se pueda utilizar en el sector construcción en las comunidades de la ciudad de Guayaquil, tales como contrapiso, aceras y pisos industriales, tan útiles en el equipamiento urbano de la mencionada ciudad.

Respecto a la variable dependiente, para la mitigación del ambiente en el sector construcción de Guayaquil, se tiene un antecedente importante de Méndez (2019), con su trabajo titulado: Elaboración de moldes de tejas, para techos con caucho reciclado para viviendas de interés social. Esta investigación deduce que el reciclaje es la transformación de un material desecho en un nuevo producto. En Guayaquil existe una falta de cultura por este tema y esto se aprecia en la acumulación de un material común en el día a día, el cual es el neumático de automóviles.

Así, busca la evolución del material para elaborar tejas para techos a base de caucho reciclado para viviendas de interés social. Para ello, mediante el análisis de las llantas por medio de pruebas de experimentación para la resistencia a la lluvia y el calor, han demostrado la eficiencia y eficacia del material. El estudio de esta investigación es importante ecológicamente para detectar procesos que solucionen problemas reales de la sociedad desde el ámbito empresarial, industrial, social y ambiental para dar solución al mal uso de este residuo. Es por esta razón que se pretende proponer nuevas aplicaciones, usándolos en viviendas de interés social u otras edificaciones e instalaciones en la rama de la construcción. Esta tesis sirve como base de la sustentación teórica que pueda implementarse en la nueva propuesta de reciclaje para el área de la construcción y la mitigación del medio ambiente.

También, Peláez et al. (2017), con su trabajo: Aplicaciones de caucho reciclado: Una revisión de la literatura. Dichos autores muestran que: “La generación de residuos de caucho se ha convertido en una preocupación global por su impacto negativo en el medio ambiente y en la salud humana. La legislación ambiental sobre la disposición de este tipo de residuos ha venido aumentando las exigencias a los fabricantes, comercializadores y usuarios, con lo cual se ha acelerado la búsqueda de alternativas para el reaprovechamiento de los residuos de caucho”.

“Este artículo en particular, presenta una revisión bibliográfica acerca de las principales tendencias en la utilización del caucho reciclado, incluyendo aplicaciones actualmente comercializadas y otras derivadas tanto de estudios terminados como de líneas de investigación en desarrollo. Las aplicaciones con mayor potencial de volumen consumido son del sector infraestructura y construcciones civiles, especialmente asfaltos, concretos y materiales aislantes para construcción liviana. Algunas aplicaciones con potencial en el futuro cercano son los filtros para la limpieza de aguas contaminadas y como componente en materiales compuestos con matriz termoplástica o en poliuretano. Se evidencia la pertinencia de continuar investigando sobre esta temática, que posee unos retos científicos de alta relevancia, los cuales ameritan la mayor atención por el problema ambiental significativo asociado al manejo de los residuos de caucho” (Peláez et al., 2017).

En tal sentido, es propicio contar con este estudio como referencia, debido al compendio de información relevante al tema y su posibilidad de uso para aprovechamiento en el área de la construcción y así poder mejorar el ambiente.

### **2.3 Marco referencial**

Aquí se establecen los fundamentos teóricos propios para el desarrollo de la presente investigación.

#### **2.3.1 Hormigón tradicional**

“Es un material que se utiliza en la construcción. Suele elaborarse mezclando cal o cemento con grava, arena y agua: cuando se seca y fragua, el hormigón se endurece y gana resistencia. La fórmula del hormigón, también llamado concreto, implica la combinación de un aglomerante (el cemento), agregados (áridos como la grava y la arena) y agua. En ocasiones se recurre también a diversos aditivos para modificar sus características” (Pérez & Merino, 2020).

“Según la variación de las proporciones de los distintos componentes, el hormigón tiene diferentes propiedades. Puede diferenciarse, en este marco, entre el hormigón ligero (con una densidad de 1800 kg/m<sup>3</sup>), el hormigón normal (densidad de unos 2200 kg/m<sup>3</sup>) y el hormigón pesado (densidad de más de 3200 kg/m<sup>3</sup>)” (Pérez & Merino, 2020).

“Aunque presenta una muy buena resistencia a los esfuerzos de compresión, el hormigón no reacciona de igual forma ante otras clases de esfuerzos (de flexión, tracción, etc.). Por lo tanto, muchas veces se lo asocia a estructuras de acero, dando lugar al llamado hormigón armado” (Pérez& Merino, 2020).

### **2.3.1.1 Propiedades del hormigón**

“Muchos factores hay que tener en cuenta en la fabricación de un hormigón para que cumpla las condiciones de calidad que se le exige en el proyecto de una estructura de hormigón armado. Estas exigencias de calidad del hormigón obedecerán tanto a criterios de resistencia y rigidez, como a criterios de durabilidad, así como los factores (acciones físicas y químicas) que afectan a esta durabilidad, las características fundamentales que presenta el material hormigón en las distintas fases por las que atraviesa su formación, hasta alcanzar las características que se le exige como material de construcción” (Troyano, 2019).

“Muy pocos conocen la gran variedad existente de hormigón, los cuales han sido diseñados para hacerle frente a una gran variedad de problemas en la construcción. Todo gracias a la versatilidad del hormigón, cuya mezcla de agua, cemento, grava, arena, aditivos, fibras o pigmentos nos proporcionan un material duradero, resistente el cual lo podemos usar para muchos fines” (Empresa Pavimentos de Hormigón PaviConj, 2021). Algunos de ellos son: hormigón anti-bacterias, hormigón drenante, hormigón autocompactante, hormigón proyectado reforzado con fibras, hormigón de alta resistencia, hormigón traslúcido, hormigón excavable, hormigón pretensado, hormigón postensado y hormigón ciclópeo.

### **2.3.1.2 Durabilidad**

“La característica principal del hormigón armado es que se trata de un material mixto, compuesto por hormigón y acero. La finalidad del hormigón es doble: por una parte, específicamente resistente (con gran capacidad para resistir, con bajo coste, importantes solicitaciones de compresión), y por otra parte, de protección de las armaduras de acero. El fenómeno de degradación más importante de las estructuras de hormigón armado es el de la corrosión de las armaduras, que se produce por ausencia, escasez o

calidad del recubrimiento de hormigón para las condiciones ambientales a las que ha estado expuesto el elemento estructural” (Troyano, 2019).

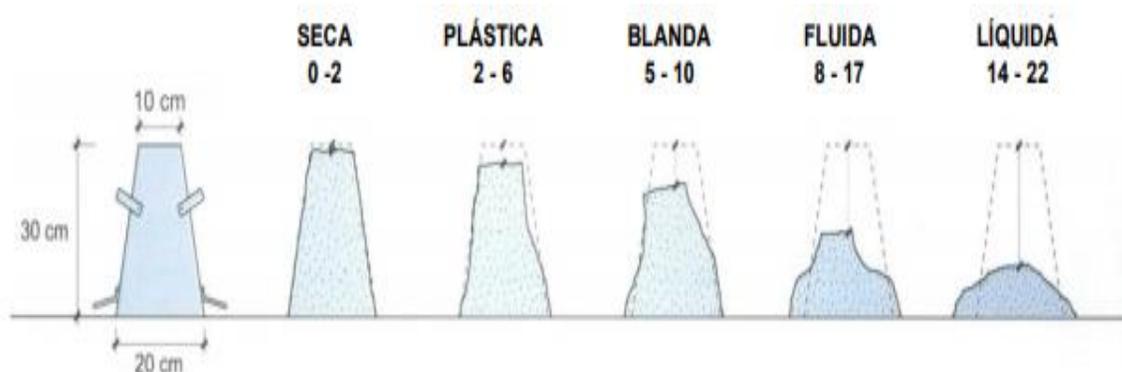
### 2.3.1.3 Propiedades del hormigón fresco

Hormigón fresco es el producto inmediato del amasado entre sus componentes, desde el primer instante se produce en su masa reacciones químicas, las cuales condicionan sus características finales como material endurecido en el que ha adquirido una rigidez tal que impide su manipulación. Es un material heterogéneo formado por elementos sólidos (áridos y cemento), líquidos (agua) y gaseosos (aire ocluido). Además, los elementos sólidos son muy heterogéneos entre sí ya que están constituidos por agregados de distinto tamaño y naturaleza. Para que un Hormigón tenga la docilidad requerida debe presentar una consistencia y una cohesión adecuada.

La facilidad con que un hormigón se deforma da la medida de su consistencia. Una forma de medir la consistencia del hormigón es obtener el asentamiento de la mezcla mediante el cono de Abrams norma INEN 1578 (ASTM C 143).

La Consistencia puede ser muy seca, seca, semiseca, media húmeda o muy húmeda o fluida, las mezclas muy fluidas que llamaremos viscosas, no se segregan fácilmente; las mezclas poco cohesivas presentan una gran tendencia a segregarse.

La docilidad de un hormigón aumenta al incrementar la cantidad del mortero. Es por ello que dentro de los factores que afectan la docilidad de un hormigón son los agregados de formas alargadas y con aristas que producen un hormigón poco dócil.



**Figura 1.** Modelo del cono de Abrams y valores límites de los asentamientos

**Fuente:** Troyano (2019)

Consistencia	Asiento en cm	Tolerancia
Seca <sup>2</sup>	0-2	0
Plástica	3-5	±1
Blanda	6-9	±1
Fluida	10-15	±2
Líquida	16-20	±2

**Figura 2.** Valores límites de los asentamientos (cm) según la consistencia

**Fuente:** Troyano (2019)

#### 2.3.1.4 Retracción del hormigón

“La retracción del hormigón es el fenómeno que se produce cuando, durante el proceso de fraguado y endurecimiento en contacto con el aire, el hormigón contrae de volumen, tal como se muestra en la figura 3. La retracción puede explicarse por la pérdida paulatina de agua en el hormigón” Troyano, (2019).



**Figura 3.** Fisura de retracción

**Fuente:** Troyano, (2019)

#### 2.3.1.5 Tipos de Hormigón, aplicaciones y propiedades

De acuerdo a PAVICONJ (2021), “pocos conocen la gran variedad existente de hormigón, los cuales han sido diseñados para hacerle frente a una gran variedad de problemas en la construcción. Todo gracias a la versatilidad del hormigón, cuya mezcla de

agua, cemento, grava, arena, aditivos, fibras o pigmentos nos proporcionan un material duradero, resistente el cual se puede usar para muchos fines.”

“El hormigón es un material que ha sido utilizado para todo, y en la mayoría de las veces con las mismas descripciones. Es decir, sin tener presente si lo que nos interesa es la resistencia, el peso, la textura, el color. Sencillamente los constructores modifican algún árido, la cantidad de agua o se le agrega pigmentos para cambiarle el color. Todo ello, sin buscar la adaptación exacta a las necesidades que se presentan. A continuación, se presentan varios tipos de hormigón, sus aplicaciones y sus propiedades” PAVICONJ (2021).



*Figura 4.* Mezcla de hormigón

*Fuente:* PAVICONJ (2021)

### ***Hormigón anti-bacterias***

“Es una nueva modalidad de hormigón, por llamarlo de alguna forma es una versión de un tipo de hormigón higiénico. Pero este no se hace con un líquido que se impregne en su superficie, sino que es un material incorporado en la fabricación del hormigón el cual evita el desarrollo de microorganismos en su superficie” (PAVICONJ, 2021).

“Es bastante interesante, la materia prima es el hormigón tradicional, pero enriquecido con aditivos singulares que otorgan su propiedad antibacterial. Este tipo de hormigón antibacteriano se emplea en la industria de comestibles, en los centros de salud y clínicas, los mataderos y granjas de cría de pollos y cerdos” (PAVICONJ, 2021).

“Como inhibe el desarrollo de bacterias en la superficie del hormigón actúa como un repelente efectivo de microbios y gérmenes que provocan afecciones intestinales, respiratorias, y, por lo general, males de carácter viral” (PAVICONJ, 2021).

### ***Hormigón drenante***

“Su masa granular, con una red muy pequeña de canales, lo dota de gran capacidad para evacuar el agua eficientemente, evitando la generación de charcos (figura 5). El hormigón drenante es un material poroso muy conveniente para la recogida de aguas pluviales y su correcta canalización” (PAVICONJ, 2021).



***Figura 5.*** Hormigón drenante

***Fuente:*** PAVICONJ (2021)

### ***Hormigón autocompactante***

“No se debe confundir este tipo de hormigón con un hormigón fluido, pues sus propiedades no son las mismas. El hormigón autocompactante se obtiene al agregar aditivos superplastificantes, estos le confieren la principal propiedad de este tipo de hormigón: no necesita compactación. Esta propiedad es una ventaja ante otros tipos de hormigones” (PAVICONJ, 2021).



**Figura 6.** Hormigón autocompactante

**Fuente:** PAVICONJ (2021)

### ***Hormigón proyectado reforzado con fibras***

“Este tipo de hormigón se ha vuelto mucho más importante gracias al desarrollo de fibras más eficaces. Con este tipo de hormigón nos evitamos sufrir las fisuraciones en la solera por una mala colocación del armado para absorber los esfuerzos de la retracción del fraguado por los cambios de temperatura” (PAVICONJ, 2021).

“La fibra de acero es, por lo general, la más apropiada. Por otro lado, la fibra de carbono tiene excelentes propiedades, pero es costosa. La fibra de vidrio es adecuada solo para aplicaciones de partículas finas especiales, además estas deben cumplir con los requisitos de comportamiento a largo plazo” (PAVICONJ, 2021).

### ***Hormigón de alta resistencia***

“Este tipo de hormigón es muy utilizado en la ejecución de grandes estructuras o rascacielos. No suele usarse en edificaciones, a pesar de que aporta grandes ventajas. Posee una alta resistencia, la cual puede ser superior a 70 MPa. En fin, cada uno de los elementos que componen este tipo de hormigón debe ser de alta resistencia” (PAVICONJ, 2021). Su baja relación agua cemento hace que el hormigón resultante tenga una elevada compacidad.

### ***Hormigón ligero***

“Este tipo de hormigón no solo se fabrican con arcilla expandida, estos pueden fabricarse con una gran variedad de áridos que incluso pueden otorgarle una resistente capacidad. Aunque la resistencia a tracción y cortante se ven reducidas frente a los hormigones convencionales es posible fabricar hormigones ligeros de hasta 80 MPa de resistencia a la compresión” (PAVICONJ, 2021).

“Entre las ventajas del hormigón ligero está, por supuesto, el aligeramiento de las estructuras, lo que ayuda a reducir el volumen de hormigón utilizado o bien reducir la carga permanente sobre las estructuras. Su utilidad más popular es la de reforzar forjados en rehabilitación de edificios. También permite regularizar suelos irregulares, muy desnivelados para la colocación de pavimentos” (PAVICONJ, 2021).

“Otra aplicación para considerar es la de aportar aislamiento térmico y acústico a los elementos estructurales gracias al aire contenido en su estructura porosa que reduce la conductividad térmica” (PAVICONJ, 2021).



***Figura 7.*** Hormigón ligero.

***Fuente:*** PAVICONJ (2021)

### ***Hormigón traslúcido***

“Este tipo de hormigón deja pasar la luz, con el que se consigue un efecto parecido a un biombo. Sumamente estético. Se obtiene al mezclar el hormigón convencional con fibra óptica, permitiendo el paso de luz a través de su masa” (PAVICONJ, 2021).

### ***Hormigón excavable***

“Éste es un tipo de hormigón pensado para ser usado en el relleno de zanjas y huecos, lo que permite sustituir al tradicional relleno de zahorras. Una vez endurecido, facilita excavar, ya que no adquiere una gran dureza e incluso permite abrir rozas a mano sobre él. Esta facilidad para ser excavado es de gran utilidad, la gran ventaja de este tipo de hormigón es la rapidez con la que se puede rellenar una zanja y su buena propiedad autocompactante” (PAVICONJ, 2021).

### ***Hormigón pretensado (pretensado)***

“La resistencia a la tracción del hormigón tradicional es inferior a su resistencia a la compresión. Teniendo esto en cuenta, si deseamos emplear el hormigón en elementos estructurales que bajo cargas de servicio resistan tracciones es necesario suplir esta falta de resistencia a la tracción. En el hormigón pretensado el cable no se encamisa, sino que este se deja libre dentro el concreto para que, a través de la fricción o adherencia del cable dentro del hormigón, este le transmita un esfuerzo de compresión después de haber adquirido su resistencia inicial” (PAVICONJ, 2021).

“Este procedimiento genera un vínculo excelente entre el acero y el hormigón, el que resguarda las barras de la oxidación, y deja la transferencia directa de tensión. El hormigón se fija a las barras, y cuando la tensión se libera es transferida al hormigón a compresión a través de la fricción. No obstante, se requieren fuertes puntos de anclaje exteriores para estirar en línea recta las barras de acero” (PAVICONJ, 2021).

“Por tanto, la mayor parte de elementos pretensados son prefabricados en laboratorio y han de ser llevados al sitio de construcción. Los elementos pretensados pueden ser en pilotes, elementos balcón, losas de piso, vigas doble T para cubrir grandes luces en parquin y edificios, etc. Gracias a su gran capacidad, las estructuras pretensadas

pueden ser empleadas en grandes luces y con elevadas sobrecargas. También una gran ventaja es que se controlan las grietas o fisuras” (PAVICONJ, 2021).

### ***Hormigón postensado (postensado)***

“El hormigón postensado es aquel hormigón sometido, después del vertido y fraguado, a esfuerzos de tracción por medio de cables de acero montados dentro de vainas o tuberías para encamisarlo, y así no transmitirle esfuerzos de compresión al concreto. Esta es la diferencia que existe entre el hormigón pretensado y el postensado. Los esfuerzos se transmiten hacia los apoyos, logrando de esta forma cubrir una mayor luz de apoyo a apoyo. Esto podemos verlo mayormente en los puentes y estructuras de grandes luces” (PAVICONJ, 2021).

“El curado de este tipo de hormigón es de suma importancia en el parque de fabricación, de ahí va a depender en parte la resistencia inicial que vaya adquiriendo y el control de grietas” (PAVICONJ, 2021).

### ***Hormigón ciclópeo***

“Este tipo de hormigón se realiza añadiendo piedras del lugar mientras se va hormigonando para economizar material. Este tipo contiene en su interior piedras mayores a los 30 cm. Se utiliza donde sea preciso ahondar las excavaciones bajo la cota proyectada para conseguir una cimentación de soporte conforme con lo solicitado por las estructuras” (PAVICONJ, 2021).

#### **2.3.1.6 Hormigón reforzado con fibra de acero (SFRC)**

Bustamante (2021), “detalla en su investigación que los hormigones reforzados con fibras de acero se definen como hormigón que incorpora a su composición fibras pequeñas y discretas que se distribuyen aleatoriamente en su masa”.

La concepción en que se basa el hormigón reforzado con fibras (SFRC) es similar a la del hormigón armado tradicional, “cosiendo” las fisuras que pueden presentarse y que dejarían a la estructura fuera de servicio.

“La diferencia está en que, en lugar de unas pocas barras, de diámetro relativamente grande y orientadas según una dirección determinada, en el SFRC el refuerzo está constituido por infinidad de fibras de pequeño diámetro y aleatoriamente orientadas, a las cuales se transfieren los esfuerzos cuando la matriz empieza a fisurarse” (Bustamante, 2021).

“La pérdida de trabajabilidad que la adición de fibras provoca en el hormigón condiciona el contenido máximo de fibras que se puede incorporar en la dosificación y que suele situarse para las fibras de acero, en función de la aplicación de las fibras empleadas” (Bustamante, 2021).

Por otro lado, suele utilizarse un límite mínimo al contenido de fibras, pues las dosificaciones con bajos contenidos de fibras han dejado experiencias negativas en la construcción.

#### **2.3.1.7 Características del hormigón con fibra de acero**

Este tipo de hormigón está compuesto por los mismos componentes del hormigón tradicional al cual se le adiciona fibras de acero. La incorporación de las mismas, alteran el comportamiento del hormigón, por lo tanto, varios de los componentes serán necesario que tenga condiciones que en los hormigones tradicionales no son necesarias.

“En función de la cantidad de fibras al adicionar en el hormigón aporta o contribuye de manera efectiva a la capacidad de carga a flexión, de corte y de impacto en un elemento, además de mejorar el control de fisuras por retracción y la durabilidad del hormigón. Se permitirá el uso de alambres, torones y barras que cumplan con los requerimientos mínimos indicados en las normas ASTM A 421 M, A 416 M ó A 722 M y se demuestre que tienen propiedades que satisfacen o superen a las indicadas en las normas mencionadas”. (NEC-SE-HM, 2014).

Componentes de la mezcla	Tamaño Máximo de árido (mm)		
	10	20	30
Cemento (Kg/m <sup>3</sup> )	350 – 600	300 - 530	280 – 415
Agua/Cemento	0,35 - 0,45	0,35 - 0,50	0,35 - 0,55
% árido fino – grueso	45 – 60	45 - 55	40 -50
% de aire ocluido	4 – 8	4 - 6	6 – 5

**Figura 8.** Cuadro de recomendaciones de proporciones para dosificaciones de SFRC.

**Fuente:** Chávez y otros (2017)

### 2.3.1.8 Propiedades mecánicas del hormigón

#### *Resistencia a compresión*

“Desde el punto de vista estructural, la resistencia a compresión simple es sin duda la característica mecánica más importante de un hormigón. Su determinación se realiza mediante ensayos normalizados sobre probetas cilíndricas o cúbicas” (Troyano, 2019).

“La resistencia del hormigón a compresión establecida en la instrucción EHE (2008) se refiere a la resistencia de la unidad de producto o amasada. Se obtiene, a partir de los resultados de los ensayos de rotura a compresión, en número igual o superior a dos, realizados sobre probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, de 28 días de edad, fabricadas, conservadas, refrentadas y rotas por compresión según métodos normalizados” (Troyano, 2019).

En la Figura 9 se aprecia la rotura de probetas en ensayo a la compresión.



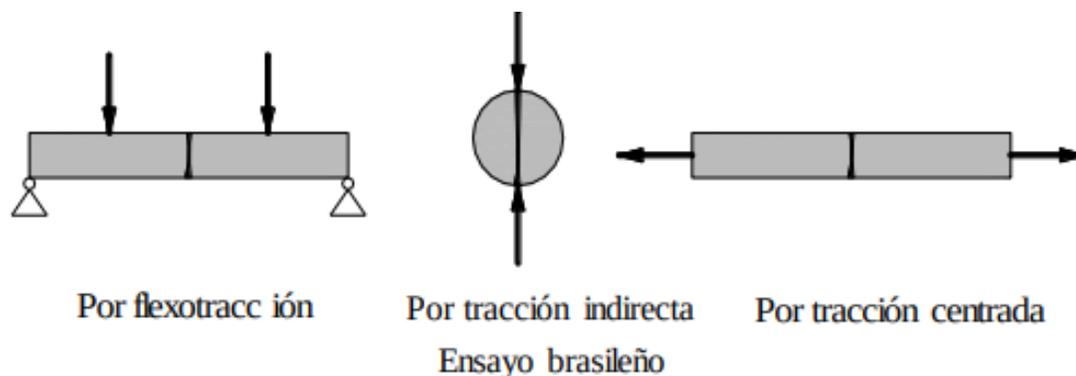
**Figura 9.** Rotura de la probeta. Se muestra la probeta antes y después de romper

**Fuente:** Troyano, (2019)

### **Resistencia a tracción**

“Desde un principio se sabe que el hormigón resiste bien los esfuerzos de compresión y mal los de tracción, por lo que no suele contarse con su colaboración para esta sollicitación, que es absorbida en su totalidad por las armaduras. No obstante, al estar ligada la resistencia a tracción con otros fenómenos distintos del resistente, como pueden ser la fisuración (y por lo tanto con la durabilidad) o la posibilidad de rotura frágil en secciones muy débilmente armadas (ductilidad), es necesario conocer dicha resistencia” (Troyano, 2019).

“Como ocurre con la resistencia a compresión, la resistencia a tracción es un valor un tanto convencional que depende del tipo de ensayo. Existen tres formas de obtener la resistencia a tracción: por flexo tracción, por tracción indirecta (ensayo brasileño) y por ensayo directo de tracción” (Troyano, 2019).



**Figura 10.** Ensayos para la determinar la resistencia a la tracción del hormigón

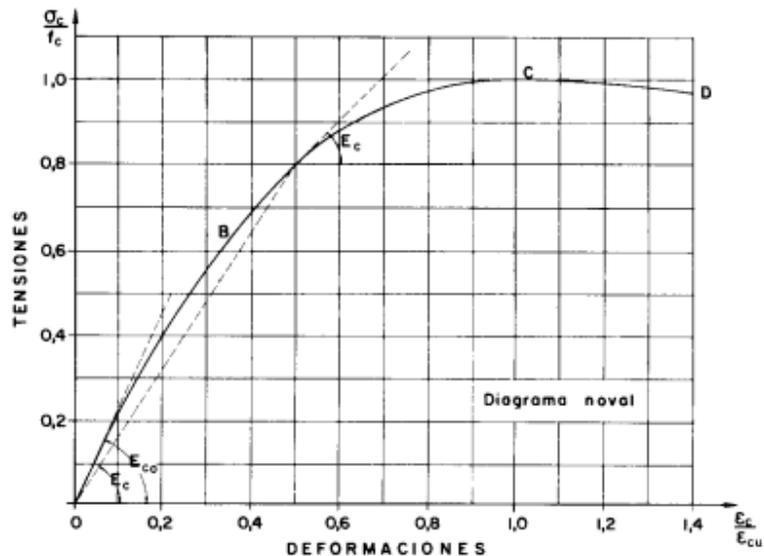
**Fuente:** Troyano, (2019)

#### **2.3.1.9 Diagrama tensión - deformación del hormigón**

“El diagrama característico tensión deformación del hormigón depende de muchas variables: edad del hormigón, duración de la carga, forma y tipo de la sección, naturaleza de la sollicitación, etc.” (Troyano, 2019).

“Puede considerarse, que el diagrama noval tensión - deformación del hormigón presenta una parte final parabólica y otra inicial aproximadamente rectilínea, el diagrama noval corresponde a una cierta duración del proceso de carga. Si esta duración se hace

variar se obtienen otras curvas de acuerdo a la instrucción EHE (2008), donde se observará la influencia de la duración del proceso de carga sobre el diagrama tensión-deformación, o lo que es lo mismo, sobre la deformación producida por un determinado estado de cargas”(Troyano, 2019).



**Figura 11.** Diagrama noval tensión-deformación del hormigón

**Fuente:** Troyano, (2019)

### 2.3.1.10 Dosificación

“El proceso mediante el cual se determinan las cantidades de cemento, agua y áridos necesarias para la obtención de un hormigón, recibe el nombre de dosificación. Para dosificar correctamente un hormigón hay que tener en cuenta tres factores fundamentales” (Troyano, 2019).

- La resistencia de diseño del hormigón.
- Consistencia del hormigón y el tamaño máximo del agregado grueso
- La agresión ambiental que pudiera determinar la durabilidad de la estructura, se debe indicar el tipo de ambiente.

### 2.3.2 El caucho

Actualmente se fabrican miles de artículos de caucho para usos muy diferentes. El caucho es ampliamente utilizado en la fabricación de neumáticos, llantas, artículos

impermeables y aislantes, por sus excelentes propiedades de elasticidad y resistencia ante los ácidos y las sustancias alcalinas. Es repelente al agua, aislante de la temperatura y de la electricidad. Se disuelve con facilidad ante petrolatos, bencenos y algunos hidrocarburos.

“El vulcanizado del caucho y su posterior desarrollo en neumáticos por Charles Goodyear fue un hecho sobresaliente que afectó nuestra calidad de vida en los pasados 150 años, incluyendo el desarrollo de automóviles que sin llantas vulcanizadas, no podrían funcionar. Las llantas o neumáticos, y por lo tanto, los automóviles son una parte importante de la sociedad moderna y, sin embargo no todos los países son capaces de producir automóviles” (Plaza, 2015).

“El futuro de la industria de neumáticos, a pesar de la disminución de los suministros de petróleo, es brillante. No obstante, de los recursos de potencia usados para propulsar nuestros carros, camiones, bicicletas, motocicletas y aviones, los neumáticos permanecerán cumpliendo con la misma función de aquellas que existían en el pasado” (Plaza, 2015).

De acuerdo a la página web Elastómeros y plásticos - [Elaplas \(2021\)](#), “El caucho es un polímero de muchas unidades encadenadas de un hidrocarburo elástico, el isopreno que surge como una emulsión lechosa (conocida como el látex) en la savia de varias plantas. El caucho se caracteriza por su elasticidad, repelente al agua y resistencia eléctrica”.

“Otra planta productora de caucho es el árbol del Hule (castilla elástica), originaria de México (de ahí el nombre del Hule), la cual es muy utilizada desde la época prehispánica para la fabricación de pelotas, que se utilizaban en el juego de pelota, deporte religioso y simbólico que practicaban los antiguos Mayas” ([Elaplas, 2021](#)).

### **2.3.3 Características y tipos de caucho**

De acuerdo a Fernández (2014), las características del caucho son: excelentes propiedades mecánicas, flexión, tracción y compresión; buena resistencia a los ácidos diluidos; buena adhesión a los tejidos y metales; y, buena deformación por compresión.

Por otro lado, en la industria del caucho se utilizan dos tipos, el 60% del caucho sintético y el 40% del caucho natural que son destinados a la fabricación de neumáticos y

productos afines, brindando oportunidades de empleo a casi medio millón de trabajadores en todo el mundo (Méndez, 2019).

#### **2.3.4 Neumáticos**

Compuesto básicamente de una banda de rodadura (caucho natural y sintético), protector monolítico, fibras reforzantes: textiles y de acero, usualmente en forma de hilos, que aportan resistencia a los neumáticos.

Los neumáticos presentan una gran variedad de compuestos como lo son agentes naturales y compuestos. Los componentes principales son los polímeros, negro de carbono y ablandadores. Por ejemplo, un neumático de 9 kg está compuesto en un 60% de caucho, 20% de acero y 20% de fibra y otros.

A pesar de que los neumáticos representan poco dentro de los residuos urbanos, ameritan un abordaje especial por sus características, tamaño e impacto ambiental.

#### **2.3.5 Reciclaje de neumáticos**

De acuerdo a la página web de Cempre (2021), el peso de un neumático medio para un vehículo liviano es de alrededor de 9,5kg mientras que para vehículos pesados puede oscilar entre 16 a 100kg. El mayor porcentaje de neumáticos descartados corresponde a los provenientes de vehículos livianos.

La situación actual es que se recicla el 1,5%, se valora energéticamente el 4,6%, se reencauchan el 11,1%, y se lleva a vertedero el 82,4%. Los neumáticos son parte de los residuos sólidos urbanos y se mantiene el hecho de ser depositados en vertederos o se almacenan en grandes pilas empleadas solo para disponer de ellos.

Según la página de la Asociación CEMPRE Uruguay (2021), en la actualidad existe diversidad de opciones para el reciclaje de neumáticos, por lo que a continuación se presenta una agrupación de dos principales modalidades:

##### ***- Los posibles usos para neumáticos enteros***

- ***Ingeniería civil:*** pueden ser empleados como estructuras de retención en zonas con bastante pendiente o que están expuestas en las carreteras. Dado su menor costo en

comparación con el material tradicionalmente usado. Otra aplicación es la de emplearse como capas de drenajes en los rellenos sanitarios.

- **Aplicaciones marinas:** para la construcción de arrecifes artificiales. Además es factible la elaboración de rompeolas ubicando los neumáticos próximos a la costa de las playas.
- **Barreras:** se pueden emplear como barreras parachoques en los costados de las carreteras y puentes.
- **Usos agrícolas:** en esta área se pueden usar los neumáticos de mayor tamaño, empleándolos como material de anclaje de lonas y en caminos o carreteras.
- **Reencauchado:** es este seguramente el principal uso que se le pueda dar. Debido a que permite ampliar la vida útil realizando un nuevo dibujo sobre el cubrimiento gastado. Es más común el reencauchado en los neumáticos de vehículos pesados, dado que en vehículos livianos no presenta grandes ventajas debido al precio.
- **Combustión:** debido a su alto poder calorífico se pueden emplear para la combustión. Un uso común es en las cementeras o industrias papeleras. Debido al contenido de elementos como el azufre, se pide instalaciones con una tecnología propicia para el control de las emisiones atmosféricas.

#### **- Los posibles usos para neumáticos triturados**

- **Productos de caucho reciclado:** al reprocesar se consiguen nuevos productos como sandalias, juntas, entre otros, que ordinariamente solían elaborarse en base a materia virgen. Mediante la modalidad ambiental y la criogénica se realiza este procesamiento.
- **Fraccionamiento de neumáticos:** aquí primero se obtienen tiras de caucho que luego se funden a altas presiones, de manera tal que, se consiguen nuevos productos como felpudos.
- **Pirolisis:** Consiste en la aplicación de calor. Es una combustión sin la presencia de oxígeno. Mediante este procedimiento se consiguen productos secundarios como: coque inferior, gas aceite y acero. Este último presenta un cierto grado de contaminación.

- **Gasificación:** este proceso consiste en evitar la combustión, para lo cual se inyecta oxígeno en valores controlados. El fin es conseguir Synthesis gas (combustible gaseoso sintético).
- **Compostaje de fangos:** no es una aplicación muy empleada. Aquí se usan los trozos de caucho de más o menos 2 pulgadas de espesor como material esponjante para el compostaje de fangos.

### 2.3.6 Propiedades Físicas y Químicas

#### *Propiedades Físicas*

Las propiedades físicas del caucho varían con la temperatura, es decir a bajas temperaturas se vuelve rígido y cuando se congela en estado de extensión adquiere estructura fibrosa; el caucho bruto en estado natural es un hidrocarburo blanco o incoloro.

Propiedades físicas	Resultados
Resistencia mecánica	Excelente
Resistencia al envejecimiento	Moderada
Resistencias a aceites y grasas	Mala
Resistencia a Hidrocarburos	Mala
Resistencia al calor	Mala
Resistencia al agua	Buena
Resistencia al frío	Buena
Resistencia a esteres y acetonas	Buena

**Figura 12.** Propiedades físicas del caucho

**Fuente:** Méndez (2019)

“A la temperatura del aire líquido, alrededor de 195°C (centígrados) (es sólido, duro y transparente, de 0 a 10°C es frágil y opaco y por encima de 20°C se vuelve blando, flexible y traslucido; al calentarlo a temperatura de 50°C el caucho adquiere una textura de plástico pegajoso y a temperaturas de 200°C se descompone” (Elaplas, 2021).

### ***Propiedades Químicas***

De forma general los neumáticos contienen muchos compuestos químicos disímiles que se agrupan en hidrocarburos, minerales y metales. Aproximadamente del 40% al 60% de un neumático es caucho. Algunas de las propiedades químicas del caucho son:

- La solubilidad del caucho bruto en sus disolventes más comunes no es muy elevada
- Los disolventes más usados son el benceno y la nafta
- La viscosidad de la solución de caucho bruto es grande
- El caucho calentado hasta 200°C se ablanda y sus soluciones tienen menor viscosidad.

Cabe destacar que la composición de un neumático por lo general es de cauchos sintéticos, cauchos naturales, cordón de acero, poliéster, nailon y alambre de acero.

#### **2.3.7 Proceso de reciclaje y su aplicación en la construcción e infraestructura**

Para garantizar la correcta gestión medioambiental se reciclan los neumáticos gastados, posteriormente, se evalúa la tipología y las características de cada rueda para clasificarlas. Luego, los neumáticos se introducen en máquinas de trituración y granulación. Se separa el caucho del resto de los componentes de los neumáticos, y por último se inicia la segunda vida de los neumáticos en otras utilidades (Peláez et al., 2016).

El caucho o neumático reciclado puede ser utilizado como componente de pavimentos y concretos para la construcción de vías y edificaciones. “Emplear residuos de caucho en este tipo de aplicaciones representa, además de las importantes ventajas ambientales y económicas expuestas previamente, mejoras técnicas en este tipo de productos, tales como el incremento de la resistencia al impacto y la resistencia a la fatiga, acarreando sin embargo algunas pérdidas en propiedades como el módulo elástico y la resistencia a la compresión” (Peláez et al., 2016).

Peláez et al. (2016) mencionan que “Debido a lo anterior, el uso de caucho reciclado en concretos y pavimentos presenta retos económicos, ecológicos y técnicos que actualmente son tema de interés. En el sector de la construcción también se utiliza el

caucho reciclado para la fabricación de pisos antideslizantes, bases de tapetes, compuestos impermeables para techos y paredes. El asfalto modificado con caucho ha servido como base para pistas de hípica, drenajes de subsuelo y acondicionadores de suelo”.

“Otros estudios han mostrado que la incorporación de caucho reciclado triturado también es factible en matrices de cemento Portland, así como mezclas ligantes usadas para construcciones con ladrillos y concreto. Otro compuesto desarrollado para este tipo de aplicaciones es el concreto con incorporación de agregados de caucho reciclado reforzado con fibras de acero” (Peláez et al., 2016).

Con ello, infieren que en el sector de la construcción existen opciones factibles y económicamente interesantes para los residuos de caucho, lo cual plantea una posibilidad en países que viven un desarrollo significativo de la industria de la construcción, con la finalidad de preservar el ambiente.

### **2.3.8 Reciclaje de cauchos en Ecuador y en Guayaquil**

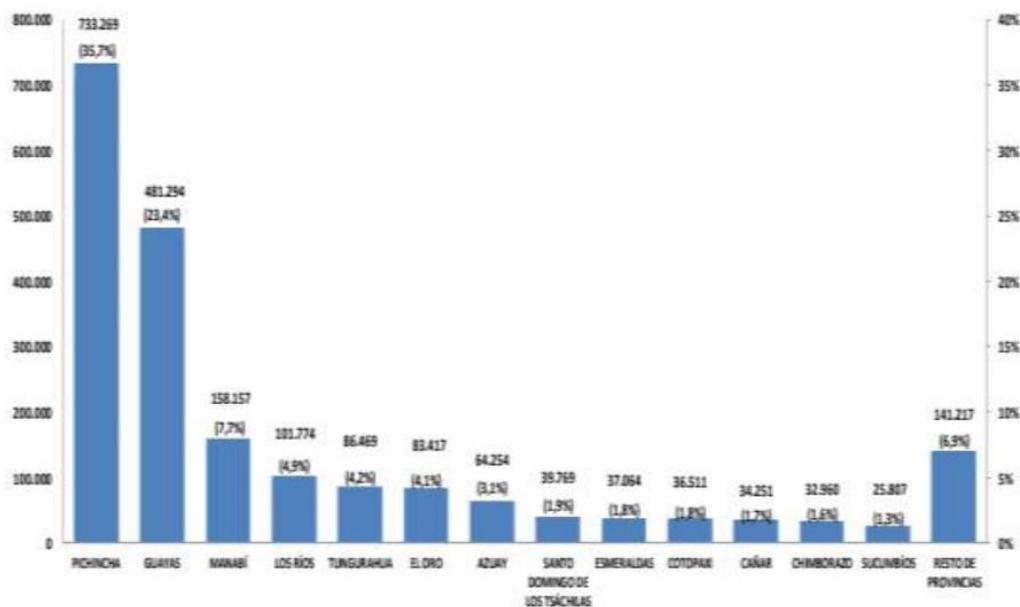
Méndez (2019), menciona que muebles, pisos, repuestos de auto, canchas sintéticas, asfalto modificado para carreteras, o rompe velocidades son algunos de los productos nuevos que se obtienen del caucho reciclado en Ecuador. En tal sentido, muchas empresas que trabajan en el reciclaje de llantas y que se denominan gestores ambientales buscan abrirse paso en el mercado local; en el 2015 la meta de recuperación de neumáticos fuera de uso era del 30% de las importaciones esto es 942.976 llantas que a nivel nacional fueron recolectadas, recuperándose el 20% de éstas.

Por lo que, el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica - MAE busca incentivar el reciclaje y por eso ha establecido pruebas pilotos de mezclas asfálticas modificadas con el polvo del caucho reciclado con el propósito de construir carreteras ecológicas en el país (Barciela, 2015).

El MAE promueve el principio de responsabilidad extendida del productor - importador, a través del cual se promueve que la empresa que pone su producto en el mercado, en el caso de los neumáticos fuera de uso (NFU) recupere un 30% de los mismos. Esto ha logrado muy buenos resultados, tal es el caso de que hasta 2014 se

recuperaron casi 600 mil NFU cumpliendo la meta planteada inicialmente en un 105%. Mediante convenios con MTOP (Transportes y Obras Públicas) y MIPRO (Industrias y Productividad) se han planteado pruebas piloto de mezclas asfálticas modificadas con polvo de caucho reciclado con el fin de construir carreteras ecológicas en el país.

Por otro lado, Méndez (2019) menciona que según datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC, en su estadística de transporte 2016, se establece un parque automotor estimado en 481,294 vehículos matriculados dentro de la provincia del Guayas, tal como se detalla en la figura 14; es importante notar que en el año 2010 se han generado 803,778 neumáticos fuera de uso en la provincia del Guayas constituye una cifra aproximada importante para ser tomada en cuenta debido al crecimiento de éste, más aun si la comparamos con los 3,556,000 unidades importadas en el año 2012 (INEC, 2016).



**Figura 13.** Parque automotor 2016

**Fuente:** INEC, (2016). Tomado de Méndez (2019)

Por otro lado, se muestran las principales empresas que lideran el reciclaje en el Ecuador:

- **Ecuaplasic:** Empresa recicladora de la provincia de Pichincha, muy conocida por la fabricación de tableros ecológicos a base del reciclaje de empaques de tetra-pack, material usado para los envases de leche. Su operación inicia en el año 2008 y hasta ahora ha estado en continuo crecimiento de sus instalaciones para la innovación

otros productos como las mangueras de polietileno reciclado y cubiertas Ecopak con base poli aluminio, (polietileno y aluminio).

- **Recynter:** Empresa guayaquileña dedicada al reciclaje de material ferroso, perteneciente al grupo empresarial Mario Bravo, ha operado en Guayaquil desde hace 45 años. Su actividad se concentra en la compra de chatarras desechadas de grandes empresas industriales para ser tratadas y distribuidas como materia prima a otros centros de producción.
- **Recimax:** Empresa dedicada al reciclaje de material electrónico o desechos tecnológicos, por lo cual su concentración de mercado se localiza en las ciudades de Quito y Guayaquil al tener mayor disponibilidad de adquisición de material tecnológico. Los desechos tecnológicos son tratados y distribuidos a otros centros de producción de dispositivos tecnológicos que deseen reciclar y reaperturar los mismos.
- **Ecocaucho:** El 13 de junio del 2013, empresa 100% ecuatoriana, dedicada a la fabricación de productos conformados de caucho reciclado, mediante la gestión de neumáticos fuera de uso. Dicha gestión tiene como objetivo cerrar el círculo del neumático, asegurando la reutilización máxima de todos y cada uno de sus componentes en las distintas aplicaciones. ECOCAUCHO contribuye de manera activa y voluntaria al mejoramiento social y medioambiental de la comunidad.

### **2.3.9 Fibra de acero**

Las fibras de acero son pequeños alambres de acero trefilado en frío de 60 mm longitud y forma alargada que posee ganchos encolados en sus extremos para un mejor rendimiento en el refuerzo del hormigón hidráulico, para lograr su desempeño dentro de la matriz del hormigón deben cumplir con las normativas europeas EN 14889-1 (Dosificación mínima necesaria para cada tipo de fibra). Vienen encoladas en peines para lograr un mezclado rápido, fácil y homogéneo con el hormigón, además de evitar la formación de bolas o grumos de fibras.

Las fibras de acero, se adicionan a la mezcla de hormigón para favorecer con algunas de las propiedades específicas y características esenciales para la elaboración de una mezcla óptima.

A continuación, se enlistan ciertas propiedades y características:

- Una resistencia a la tensión ligeramente superior que la del hormigón simple.
- Una mejor adherencia con la matriz.
- Un módulo elástico superior al del hormigón simple.

En el mercado se pueden encontrar diferentes tipos de fibras, en función de la capacidad de aumentar la resistencia del hormigón se clasifican en estructurales y no estructurales. Las primeras contribuyen en la sección del elemento a la capacidad mientras que las segundas no.

Las fibras presumen un incremento en algunas propiedades como en el control de la fisuración, y el aumento en la resistencia al fuego, entre otras.

Las fibras incorporadas en el hormigón presentan secciones pequeñas y reducidas longitudes, y se pueden clasificar en tres tipos según sea su naturaleza: de acero, poliméricas; e inorgánicas.

“Algunas de las características con las que cuentan las fibras que son utilizadas para la elaboración del concreto u hormigón con adición o reforzado” (Ramos, 2012).

Tipo de fibras	Resistencia a tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Alargamiento de rotura (%)
Acero	500 - 3000	210	7800	3,5
Acero inoxidable	2100	160	7860	3
Vidrio	2000	60	2700	3,6
Carbón	3000	200 - 500	1900	0,5
Nylon	900	4	1100	13,0 – 15,0
Polipropileno	400 - 800	5 - 25	900	8,0 – 20,0
Poliéster	700 - 900	8,2	1400	11,0 - 13,0
Hormigón	5 – 8	30	2300	-

**Figura 14.** Características de las fibras

**Fuente:** Ramos (2012)

### ***Resistencia a la tracción de la fibra***

Es el máximo esfuerzo que la fibra puede resistir ante una carga de rotura por tensión y está directamente ligada al material de fabricación.

### ***Dosificación de fibras***

En una mezcla de hormigón las fibras actúan como inclusiones rígidas con una gran área superficial. Por lo cual, se reduce la trabajabilidad de la mezcla, por ende se debe solventar esto añadiendo aditivos que optimicen la trabajabilidad.

De acuerdo a investigaciones previas, el contenido de fibras en la mezcla de hormigón habitualmente oscila en el rango de 0.25 al 2.0%. En el mercado nacional se revisó que las fibras de polipropileno se recomiendan en dosis de consumo bajas de 0,20%, mientras que las fibras de acero se recomiendan hasta en dosis del 2%.

## **2.4 Marco conceptual (Definición de términos básicos)**

- ***Agua para Hormigón:*** utilizada en la elaboración del concreto y mortero debe ser apta para el consumo humano, libre de sustancias como aceites, ácidos, sustancias alcalinas y materias orgánicas.
- ***Ambiente:*** Es un término amplio que incluye todas las condiciones y factores externos, vivientes y no vivientes que afectan a un organismo.
- ***Cemento:*** es un concentrado de óxido de calcio, dióxido de silicio, óxidos de aluminio y hierro, y el trióxido de azufre aportado por el yeso. Todos estos compuestos, excepto el trióxido de azufre, son sometidos a un proceso de sinterización del que se obtiene el Clinker.
- ***Cemento Portland:*** Resulta de la pulverización del Clinker Portland (de origen arcilloso) y sulfato de calcio. Adquiere una consistencia plástica práctica y de fraguado lento, tarda hasta tres semanas para endurecer completamente.
- ***Compresión:*** proceso físico o mecánico que consiste en someter a un cuerpo a la acción de dos fuerzas opuestas para que disminuya su volumen.
- ***Cono de Abrams:*** es un instrumento metálico que se utiliza en el ensayo que se le realiza al hormigón en su estado fresco para medir su consistencia ("fluidez" o "plasticidad" del hormigón fresco).

- **Dosificación:** implica establecer las proporciones apropiadas de los materiales que componen el hormigón, a fin de obtener la resistencia y durabilidad requeridas, o bien, para obtener un acabado o adherencia correctos.
- **Flexión:** es una combinación de esfuerzos de compresión y de tracción. El momento flector es el que provoca la flexión.
- **Granulometría:** es la distribución de las partículas de los áridos finos y gruesos, por tamizado.
- **Hormigón Reforzado con Fibras:** Es un hormigón que posee una distribución homogénea de fibras cortas (al azar u orientadas).
- **Humedad:** Es el aumento del nivel de agua que tiene la mezcla y en el caso que no esté medida correctamente provocara una elevada humedad en el mortero.
- **Impacto Ambiental:** Se entiende cualquier modificación de las condiciones ambientales o las generaciones de un nuevo conjunto de condiciones ambientales negativas o positivas, como consecuencia de las acciones propias del proyecto en consideración o de las acciones del hombre.
- **Medio Ambiente:** Son todos los factores bióticos y abióticos, sociales y culturales que afectan al ser humano y, por lo tanto, trascienden a los diversos aspectos de su vida y actividades.
- **Mezcla de concreto:** el concreto es la mezcla que se obtiene de porciones equilibradas de cemento, agua y aditivos de forma opcional, básicamente describe una estructura plástica-moldeable que al ser trabajado toma la forma consistente de una pasta resistente, convirtiéndolo en el material adecuado para la construcción.
- **Probetas:** instrumento que sirve para un muestreo que se utiliza para realizar ensayos mecánicos del hormigón endurecido. Se realizan en moldes metálicos cilíndricos de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura rígidos, indeformables y no absorbentes untados en aceite mineral que no ataque al cemento y evite su adherencia.
- **Tracción:** se produce cuando en un elemento se presenta fuerzas con la misma dirección pero en sentidos contrarios, lo cual tienden a estirar al elemento.

## 2.5 Marco Legal

### *Normas del proceso para el desarrollo de los ensayos para el tema de investigación*

Se emplearán los criterios emitidos por Ministerio de Transporte y Obras Publicas - MTOP (s/f) de acuerdo MOP-001-F 2002, ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES, en el capítulo 800 materiales, secciones 801 – 802 – 803 y 804, donde se emiten los lineamientos en cuanto al uso, procedimientos de trabajos, tipo de materiales a emplearse, de acuerdo a la medidas consideradas para obtener un diseño acorde a las normas establecidas para esta investigación.

Todos los ensayos se realizarán, mediante las NTE y las Normas ASTM (Asociación Americana de Ensayos de Materiales), AASHTO (La Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes), NLT (No Less Than, no menor a) y INV (Instituto Nacional de Vías).

Ministerio y Transporte de Obras Publicas – MTOP, (s/f) en sus capítulos.

- |               |                                 |         |
|---------------|---------------------------------|---------|
| • SECCION 801 | Hormigón de Cemento Pórtland    | VIII-1  |
| • SECCION 802 | Cemento Pórtland                | VIII-22 |
| • SECCION 803 | Agregados para Hormigón         | VIII-26 |
| • SECCION 804 | Agua para Hormigones y Morteros | VIII-45 |

Normas Técnicas Ecuatorianas – NTE (s/f):

- INEN NTE 696 y 697 Ensayos granulométricos
- INEN NTE 0860 Ensayos de Abrasión
- INEN NTE 0858 Determinación de la masa unitaria en agregado
- INEN NTE 0857 Determinación del peso específico en agregado grueso
- INEN NTE 0856 Determinación del peso específico en agregado fino
- NTE INEN 0695 Muestreo de agregados
- NTE INEN 0154 Designación de tamices
- NTE INEN 0691 Limite Líquido
- NTE INEN 0692 Limite Plástico

Asociación Americana de Ensayo de Materiales - ASTM, (s/f):

- ASTM C 136            Ensayos Granulométricos
- ASTM C 131            Ensayo de Abrasión
- ASTM C 127            Determinación del peso específico en agregado grueso
- ASTM C 128            Determinación del peso específico en agregado fino
- ASTM C 29             Determinación de la masa unitaria en agregado
- ASTM C 88             Sulfato
- ASTM C 172            Toma de muestra de concreto
- ASTM C 192            Elaboración y curado de muestra de concreto
- ASTM C 39             Resistencia a la compresión

***Reglamento de titulación de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil (ULVR, 2019)***

La unidad de titulación es la unidad curricular que incluye las asignaturas, cursos o sus equivalentes, que permiten la validación académica de los conocimientos, habilidades y desempeños adquiridos en la carrera para la resolución de problemas, dilemas o desafíos de una profesión (ULVR, 2019).

Que el resultado final de esta unidad curricular es:

- a) el desarrollo de un trabajo de titulación, o,
- b) la preparación y aprobación de un examen de grado de carácter complejo, con los cuales se realiza la validación académica de los conocimientos, habilidades y desempeños adquiridos en la carrera por los estudiantes (ULVR, 2019).

Que en ambas modalidades el estudiante deberá demostrar el manejo integral de los conocimientos adquiridos a lo largo de su formación profesional, así como las destrezas alcanzadas al término de la misma, sin que le sea permitido realizar otra unidad curricular distinta a las señaladas en la Ley (ULVR, 2019).

Que en ejercicio de la autonomía universitaria establecida en el Art. 351 de la Constitución de la República y al amparo de la potestad reglamentaria ejercida por el Órgano Colegiado Superior (OCAS) de la ULVR.

Art.17.-Proyecto de Investigación. Es una propuesta que pretende encontrar resultados que den respuesta a un problema que surja de las prácticas pre-profesionales, vinculación con la sociedad o de su experiencia laboral. En esta opción se puede hacer uso de cualquiera de los métodos y tipos de investigación existentes que apliquen al tema motivo de la propuesta, una investigación exploratoria y diagnóstica, la base conceptual, conclusiones y fuentes de consulta (ULVR, 2019).

***Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. Toda una Vida***

Donde se procura el hecho de:

- Incentivar la producción y consumo ambientalmente responsable, con base en los principios de la economía circular y bio-economía, fomentando el reciclaje y combatiendo la obsolescencia programada.
- Promover la investigación, la formación, la capacitación, el desarrollo y la transferencia tecnológica, la innovación y el emprendimiento, la protección de la propiedad intelectual, para impulsar el cambio de la matriz productiva mediante la vinculación entre el sector público, productivo y las universidades.
- Implementar sistemas constructivos seguros y energéticamente eficientes en zonas de alta exposición a amenazas de origen natural y antrópico.

### **CAPITULO III**

#### **MARCO METODOLÓGICO**

“El marco metodológico es de gran importancia en la investigación, pues el planteamiento de una metodología adecuada garantiza que las relaciones que se establecen y los resultados o nuevos conocimientos obtenidos tengan el máximo grado de exactitud y confiabilidad” (Pekalais y otros, 2015).

Al respecto, para la investigación que se presenta, se utilizarán dos métodos científicos para su desarrollo: el método deductivo y el método inductivo. Específicamente considerando la postura epistémica en la que se sustenta paradigmáticamente esta investigación se asume el método inductivo como forma de razonamiento de la investigación en tanto procura realizar determinaciones desde los eventos particulares de un fenómeno, hasta lograr configurar características similares uniformemente, de modo que se generaliza sus propiedades (García, 2000).

Por otro lado, Arrieta (2021), menciona que “el método inductivo se utiliza partiendo de casos particulares para llegar a una proposición general. El uso del razonamiento inductivo fue y es de gran importancia en el trabajo científico en general, ya que consiste en la recolección de datos sobre casos específicos y su análisis para crear teorías o hipótesis”.

De acuerdo al autor antes mencionado, las características principales del método inductivo son:

- Es vertical, es decir, intenta explicar lo común de lo individual.
- Se inicia con el empirismo del fenómeno y sobre la base de este teoriza.
- Es un método teórico que induce al conocimiento más genérico.
- Solo evalúa fenómenos observables.
- Generalmente de los resultados emergen datos probabilísticos, llegando a constituir falsos positivos.

**Método deductivo:** “la deducción es la forma de razonar, que partiendo de juicios generales, concluye con juicios particulares; en este caso, la esencia del objeto que se investiga aplicando el método deductivo, garantiza el carácter necesario de las conclusiones, la conexión de las proposiciones generales, precedentes hasta llegar a las cosas singulares, particulares” (Pekalais y otros, 2015).

Para Arrieta (2021), el método deductivo es un tipo de razonamiento usado para aplicar leyes o teorías a casos singulares. Es el método utilizado en las ciencias formales, como la lógica y la matemática. Además, el razonamiento deductivo es clave en la aplicación de leyes a fenómenos particulares que se estudian en la ciencia.

En este sentido, esta forma de visualizar el fenómeno implica una estructura piramidal invertida, es decir, se inicia con la estandarización de los eventos producidos hasta singularizar el fenómeno. Este método coadyuva a la revisión de elementos epistemológicos que evoquen nuevos, además tiene la característica primaria del descubrimiento de un fenómeno sobre la base del proceso investigativo que implica estudios que no permiten visualizar los hechos de manera tácita, no desde las causas si no de las consecuencias producidas.

Cabe destacar que para Arrieta (2021) las características del método deductivo son las siguientes:

- Es una pirámide invertida puesto que es jerárquica que va desde los fenómenos homogeneizados hasta los individualizados.
- Generalmente es empleado bajo consideraciones paradigmáticas formales.
- Utiliza la hipótesis como medio para describir un fenómeno y explicarlo desde la teoría.
- Los resultados obtenidos se forman a través de las ideas centrales.
- En teoría si las hipótesis planteadas inicialmente son verdaderas por fuerza los resultados también lo son y estas a su vez deben seguir un razonamiento lógico y con la rigurosidad científica correspondiente.
- Sólo valida, no genera nuevas epistemes.

Esta investigación va a seguir los métodos inductivo y deductivo, dado que se desarrollará un análisis sobre la opinión de especialistas en el área de la construcción para conocer su postura en la incorporación de agregados de fibra de acero y caucho reciclado al hormigón tradicional para usos constructivos como por ejemplo los contrapisos, aunado a su criterio en base a la mitigación ambiental respecto a estos elementos que afectan a la salud de los pobladores y su entorno en la ciudad en Guayaquil.

Por otro lado, se requiere de estos métodos científicos para el análisis en la elaboración de los ensayos, recopilando los resultados de los cálculos en cada uno de ellos, hasta obtener las dosificaciones óptimas para cada resistencia, por lo tal serán conclusiones válidas y verdaderas, obteniendo un nuevo conocimiento del comportamiento mecánico que tendría el hormigón con fibra de acero y caucho reciclado al compararlo con el hormigón.

### **3.1 Tipo de investigación**

La investigación que se propone será de tipo exploratorio.

Es *exploratorio*, debido a que este tipo de proyecto investigan problemas poco estudiados, indagan desde una perspectiva innovadora, ayudan a identificar conceptos promisorios y preparan el terreno para nuevos estudios (Hernández y otros, 2014).

En relación a ello, las variables sobre la fibra de acero y caucho reciclado y todo lo referente a la información preliminar y las formas de aprovechamiento para la mitigación ambiental en el sector construcción, con la aplicación en una mezcla de hormigón hacen de esta propuesta una innovación que pueda utilizarse en el futuro en obras civiles. Lógicamente, a través de los resultados de los ensayos, se demostrará que el material es óptimo para los usos que se plantean de contrapiso, aceras y pisos industriales.

Por lo que, en este trabajo se tomarán de forma empírica la fibra de acero y caucho y se mezclará con los agregados del hormigón tradicional para posteriormente con la experimentación en el laboratorio con condiciones controladas y los diversos ensayos con diferentes dosificaciones, se obtendrán los resultado y análisis de los posibles cambios que puedan surgir al ser sometido a condiciones de resistencias de 210 kg/cm<sup>2</sup>, a las edades de 7, 14 y 28 días. Así, todos los ensayos se realizarán en un laboratorio calificado y con

normas específicas para cada uno; de la misma forma, se comparará con los resultados del hormigón tradicional.

### **3.2 Enfoque de la investigación**

En este trabajo, se utilizará el *enfoque cuantitativo*.

El enfoque *cuantitativo*, utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías (Hernández y otros, 2014).

Así, este trabajo, se desarrollará con un enfoque cuantitativo el cual va en línea a una propuesta de posible solución de la contaminación ambiental que surge de los desperdicios de acero y de cauchos, quienes son los que circunscriben la problemática de la investigación y que a través de su reciclado y puesta en marcha de la propuesta pueda utilizarse como solución en el sector de la construcción.

En tal sentido, por una parte será bajo las informaciones y datos sobre la fibra de acero y caucho, como los antecedentes y hechos conocidos, por las premisas que se puedan abordar en las opiniones de los profesionales para su aplicación en la mezcla de hormigón Y por otro lado, en los valores (datos numéricos) que arrojarán los ensayos, tales como: la resistencia a la compresión, el revenimiento, que describirán el comportamiento mecánico del hormigón con fibra de acero y caucho respecto con el tradicional.

### **3.3 Técnicas e instrumentos**

#### **3.3.1 Técnicas**

Las técnicas empleadas en esta investigación, tienen como objetivo recopilar información para su posterior análisis. La metodología empleada corresponde a una investigación cuantitativa de tipo experimental en la que se obtienen datos según los ensayos realizados.

A continuación, se detallan los ensayos realizados:

- Granulometría de áridos, NTE INEN 872
- Peso específico del agregado fino, ASTM-C124, AASHTO T-84
- Ensayo del P.V.S y P.V.V. del agregado fino, ASTM-C29; AASHTO T-19

- Peso específico del agregado grueso, ASTM C-127; AASHTO T-85
- Ensayo de asentamientos o cono de Abrams, NTE INEN 1 578.
- Ensayo al hormigón de resistencia a la compresión, ASTM C39

### **3.3.2 Instrumentos**

Se describen como instrumentos que permitirán realizar las técnicas descritas anteriormente, a todos los equipos de laboratorio a usar como lo son:

- Balanzas
- Horno
- Tamices
- Moldes para cilindros
- Prensa hidráulica para rotura de cilindros

Y todo aquel instrumento que permita mediante la realización de ensayos, recolectar los datos experimentales.

### **3.4 Población y muestra**

Para esta investigación se define como la población a las diferentes clases de hormigones que se disponen en nuestro medio, es así que se tiene los siguientes tipos de hormigones:

- Simple o tradicional
- Autocompactante
- Proyectado reforzado con fibras
- Reforzado con fibras
- De alta resistencia
- Pretensado
- Postensado
- Ligero
- Ciclópeo

La muestra para esta investigación consta de 15 cilindros testigos, de los cuales se obtendrán los resultados.

### 3.5 Cronograma general del trabajo de titulación



**CARRERA: INGENIERÍA CIVIL**

**TEMA: HORMIGÓN CON FIBRA DE ACERO Y CAUCHO RECICLADO PARA MITIGACIÓN AMBIENTAL EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN DE GUAYAQUIL**

**ESTUDIANTE: MARY CARMEN ROBAYO SARMIENTO**

**TIEMPO ESTIMADO: 6 MESES**

*Tabla 2:*

Cronograma general del trabajo de titulación

<b>Actividad</b>	<b>Inicio</b>	<b>Fin</b>
<b>Capítulo I "Diseño de la Investigación"</b>	octubre - 01	octubre - 31
<b>Capítulo II "Marco Teórico"</b>	noviembre - 01	noviembre - 30
<b>Capítulo III "Metodología de la Investigación"</b>	diciembre - 01	diciembre - 31
<b>Capítulo IV "Informe técnico/Propuesta"</b>	enero - 01	abril - 11

*Elaborado por:* Robayo, M. (2021)

**ING. MAX ALMEIDA. MSc.**  
**Profesor Tutor**

**MARY CARMEN ROBAYO**  
**SARMIENTO**  
**Estudiante**

## **CAPITULO IV**

### **PROPUESTA**

#### **4.1 Tema**

Elaboración de un análisis comparativo entre hormigón tradicional y hormigón con fibra de acero y caucho reciclado empleando diferentes dosificaciones.

#### **4.2 Desarrollo de la propuesta**

Teniendo como antecedente los trabajos previos de investigación elaborados sobre las fibras de acero y caucho, en este capítulo se describe los trabajos realizados para obtener los datos experimentales, sometiendo el hormigón tradicional sin adicciones versus el hormigón con fibras de acero y caucho reciclado. Ensayados en condiciones iguales para conseguir una justa comparación y realizar una ficha comparativa que permita conocer el hormigón de manera resumida.

En esta propuesta se estudian hormigones con resistencias de diseño  $F'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup>. Tomando como punto base o de control el hormigón tradicional versus el hormigón con fibra de acero y caucho reciclado.

#### **4.3 Diseño del hormigón de $f'c=210$ kg/cm<sup>2</sup>**

Los requerimientos técnicos del diseño de hormigón son los siguientes:

- $F'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>
- Revenimiento=15cm
- Tamaño máximo del agregado grueso (T.M.A)= 19mm
- Densidad del cemento= 3150 Kg/m<sup>3</sup>

A continuación, se enlistan los materiales de la mezcla de hormigón y sus procedencias.

- Cemento Tipo GU (Holcim)
- Piedra triturada de la cantera Savanilla
- Arena procedente del Río Chimbo
- Agua potable



**Figura 15:** Piedra y arena empleados en la mezcla de hormigón

**Elaborado por:** Robayo, M. (2021)



**Figura 16:** Cemento UG y agua empleados en la mezcla de hormigón

**Elaborado por:** Robayo, M. (2021)

En el anexo 1 se aprecian los datos de laboratorio y los ensayos pertinentes para determinar las características físicas de los materiales especificados en la Tabla 3.

**Tabla 3:**

Características físicas de los agregados

<b>Piedra triturada de la cantera Savanilla</b>				
P.V.S.	P.V.V.	D.S.S.S	Absorción	T.M.A.
Kg/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	%	Pulg.
1500	1712	2688	1.90	1
<b>Arena procedente del río Chimbo</b>				
P.V.S.	D.S.S.S	Absorción	Módulo de finura	
Kg/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	%		
1460	2466	2.04	2.64	

*Elaborado por:* Robayo, M. (2021)

Establecidos los requerimientos técnicos y las características físicas de los materiales, el laboratorio procedió a determinar la dosificación para 1 saco de cemento, la cual se detalla a continuación.

#### ***Dosificación para 1 saco de cemento***

Cemento= 50.0 Kg

Agua= 34.0 Kg

Piedra= 174.5 Kg

Arena= 102.0 Kg

#### ***Calculo de parihuelas:***

Piedra= 3.20 parihuelas de 40x40x20cm

Arena= 2.10 parihuelas de 40x40x20cm

#### **4.4 Selección de porcentajes de fibras de acero y caucho reciclado**

De las investigaciones precursoras, se tiene que, en los porcentajes de caucho reciclado respecto al peso una mezcla tradicional, se consigue que esta sea más liviana en alrededor de un 6%, para porcentajes del 5% de caucho reciclado. Además, se sabe que empleando hasta un 10% de porcentaje de caucho no se han obtenido disminuciones de las resistencias.

Respecto a las fibras de acero, de diferentes investigaciones se ha estimado que el porcentaje óptimo para no presentar disminuciones de resistencias a la compresión, está alrededor del 1% del peso del agregado grueso.

En base a las investigaciones e información disponible, de manera empírica se ha optado por los siguientes porcentajes de cauchos y fibras de acero:

**Tabla 4:**

Dosificaciones de hormigones

<b>Porcentaje de fibras</b>
5% (caucho + fibras de acero)
10% (caucho + fibras de acero)
15% (caucho + fibras de acero)
20% (caucho + fibras de acero)

*Elaborado por:* Robayo, M. (2022)

Estos porcentajes de caucho reciclado y fibra de acero reemplazaran parcialmente el agregado grueso. En la siguiente tabla se han determinado los pesos a incorporar para los porcentajes antes expuestos, dichos valores corresponden a los kilogramos a reemplazar del agregado grueso, determinados en la sección anterior.

**Tabla 5:**

Peso de caucho reciclado y fibra de acero a incorporarse en cada mezcla

<b>Porcentaje</b>	<b>Kg</b>
5%	8.7
10%	17.5
15%	26.2
20%	34.9

*Elaborado por:* Robayo, M. (2022)

A continuación, se enlistan los materiales incorporados a la mezcla de hormigón tradicional

- Llantas de neumáticos, procedentes de vulcanizadoras dentro de la ciudad de Guayaquil.
- Fibras de acero, obtenidas de las llantas de neumáticos.



**Figura 17:** Caucho granulado, obtenido de neumáticos.

**Elaborado por:** Robayo, M. (2022)



**Figura 18:** Fibras de acero, obtenida de neumáticos.

**Elaborado por:** Robayo, M. (2022)

A continuación, se presenta el proceso de obtención de fibras de acero y caucho reciclado.

Descripción	Anexo fotográfico
<p>Selección de llantas para la extracción de los materiales necesarios.</p>	
<p>Se optó por realizar la extracción del alambre y el corte de caucho en una vulcanizadora. Sin embargo, lo recomendable es realizarlo en una planta recicladora con equipo especializado.</p>	
<p>El tamaño del caucho reciclado no debe ser mayor que el tamaño máximo nominal del agregado grueso.</p>	

**Figura 19:** Obtención de fibra de caucho y acero reciclado de llantas.

**Elaborado por:** Robayo, M. (2022)

A continuación, se presentan las dosificaciones para 1 saco de cemento, para los diferentes porcentajes de caucho reciclado y fibras de acero a incorporar en las mezcla de hormigón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ .

***Primera Dosificación que corresponde al 5% de caucho y acero.***

Cemento=	50.0 Kg
Agua=	34.0 Kg
Piedra=	174.5 Kg – 8.7 kg =165.5 Kg)
Arena=	102.0 Kg

***Segunda Dosificación que corresponde al 10% de caucho y acero.***

Cemento=	50.0 Kg
Agua=	34.0 Kg
Piedra=	174.5 Kg – 17.5 kg =157.0 Kg)
Arena=	102.0 Kg

***Tercer Dosificación que corresponde al 15% de caucho y acero.***

Cemento=	50.0 Kg
Agua=	34.0 Kg
Piedra=	174.5 Kg – 26.2 kg =148.3 Kg)
Arena=	102.0 Kg

***Cuarta Dosificación que corresponde al 20% de caucho y acero.***

Cemento=	50.0 Kg
Agua=	34.0 Kg
Piedra=	174.5 Kg – 34.9 Kg =139.6 Kg)
Arena=	102.0 Kg

En la tabla 6 se presenta un resumen de las dosificaciones para los diferentes porcentajes de caucho anteriormente descritos.

**Tabla 6:**

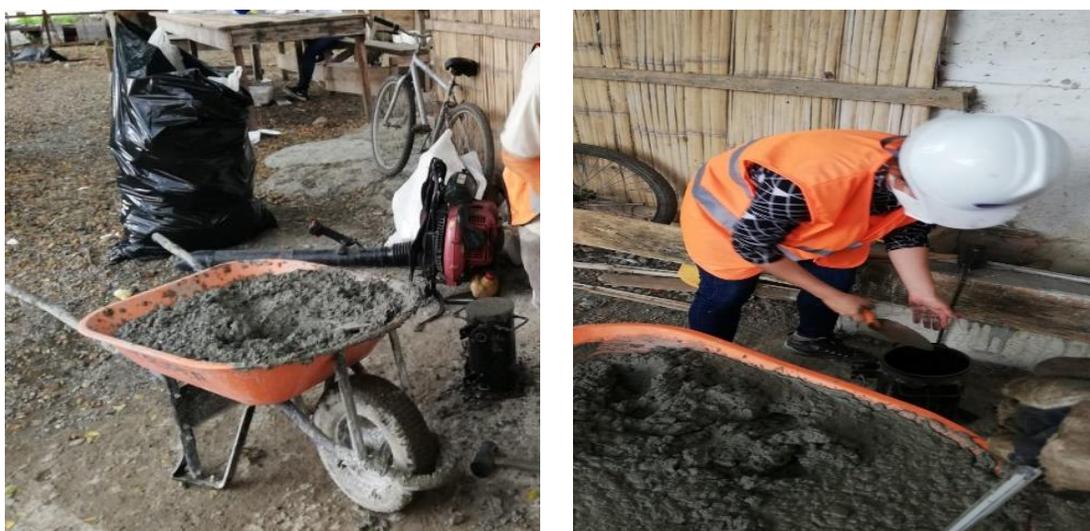
Resumen de pesos (Kg) de los materiales para los diferentes porcentajes

Material	H. Simple	5%	10%	15%	20%	U
Cemento=	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	Kg
Agua=	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0	Kg
Piedra=	174.5	165.5	157.0	148.3	139.6	Kg
Arena=	102.0	102.0	102.0	102.0	102.0	Kg
Caucho y acero=	0.0	8.7	17.5	26.2	34.9	Kg

*Elaborado por:* Robayo, M. (2022)

#### 4.5 Elaboración de la mezcla

Una vez determinado el diseño del hormigón, se procede a realizar la mezcla, en el presente proyecto se realizaron 5 mezclas de hormigón fresco, ver Anexo 1 y sección 4.4.



**Figura 20:** Mezcla del Hormigón tradicional  $f'c= 210\text{kg/cm}^2$

*Elaborado por:* Robayo, M. (2022)



**Figura 21:** Mezcla del Hormigón con adiciones de fibras de acero y caucho reciclado.

*Elaborado por:* Robayo, M. (2022)

#### **4.6 Elaboración de cilindros**

Habiendo establecido el diseño de la mezcla y los porcentajes de fibras a incorporar en los hormigones, se elaboran 15 muestras en probetas de 150mm de diámetro y 300mm de altura, es decir, una relación de 2 a 1 cumpliendo la norma NTE INEN 1576.

Teniendo en cuenta los pesos mediante el diseño y los porcentajes de fibras que se necesita para cada muestra, se procede a tomar los pesos necesarios para realizar cada espécimen. Mediante una regla de tres, sacamos las cantidades necesarias para cada mezcla, partiendo como punto de comparación un hormigón sin agregado de fibras.

Primero se realiza la preparación de los materiales, luego se procede a determinar los pesos. Se deben mezclar los agregados fino y grueso, posteriormente se adiciona el cemento, después el caucho (triturado), y por último el agua.

Se toman los revenimientos o asentamientos, los mismos que tienen relación con la trabajabilidad de las mezclas.

En las imágenes expuestas, se observa el procedimiento para la aceptación de la mezcla, para el presente proyecto el revenimiento debe ser  $\pm 15\text{cm}$ . NTE INEN 1762 (método del ensayo).



**Figura 22:** Ensayo del cono de Abrams para mezcla de hormigón tradicional

**Elaborado por:** Robayo, M. (2022)



**Figura 23:** Ensayo del cono de Abrams para mezclas con caucho reciclado y fibra

**Elaborado por:** Robayo, M. (2022)

Realizado el ensayo del cono de Abrams, se procede a agregarla a los moldes o probetas según especifica la norma NTE INEN 1576, la cual indica que para cilindros de  $D=150\text{mm}$  se debe adicionar la mezcla en 3 capas de aproximadamente igual altura, hasta llenar el cilindro, dando 25 golpes con una varilla lisa de  $5/8''$ , de punta redonda, para reducir los vacíos de la mezcla. Al final se dan unos golpes por el exterior del cilindro con un martillo de goma para una buena distribución del hormigón.



**Figura 24:** Preparación de cilindros

**Elaborado por:** Robayo, M. (2022)



**Figura 25:** Probetas de cilindros.

**Elaborado por:** Robayo, M. (2022)



**Figura 26:** Desencofrado de Cilindros, identificación, fecha del muestreo.

**Elaborado por:** Robayo, M. (2022)

Luego de realizar las tomas de los cilindros, se deben dejar durante el fraguado mínimo 24 horas para retirar los moldes e inmediatamente meterlos en una piscina (tanque u similar) de agua que los cubra completamente para un buen curado. La temperatura para el curado inicial debe estar entre 16°C y 27°C, en un ambiente que prevenga la humedad.



**Figura 26:** Curado de Cilindros.  
**Elaborado por:** Robayo, M. (2021)



**Figura 27:** Traslado de Cilindros al laboratorio.  
**Elaborado por:** Robayo, M. (2022)

#### 4.7 Ensayos a la compresión

Los cilindros fueron ensayados a la compresión a la edad de 7, 14 y 28 días. Estas roturas deben obedecer a la normativa NTE INEN 1573 y a la normativa internacional ASTM C39, las cuales tratan de ejercer fuerza axial sobre los especímenes de hormigón hasta que se produzca la falla. Los cilindros tienen un diámetro de 150mm, en dicha superficie la prensa hidráulica ejerce una fuerza axial en cada cilindro sobre el área circular de  $176.71\text{cm}^2$ , velocidad constante.



**Figura 27:** Rotura de Cilindros.

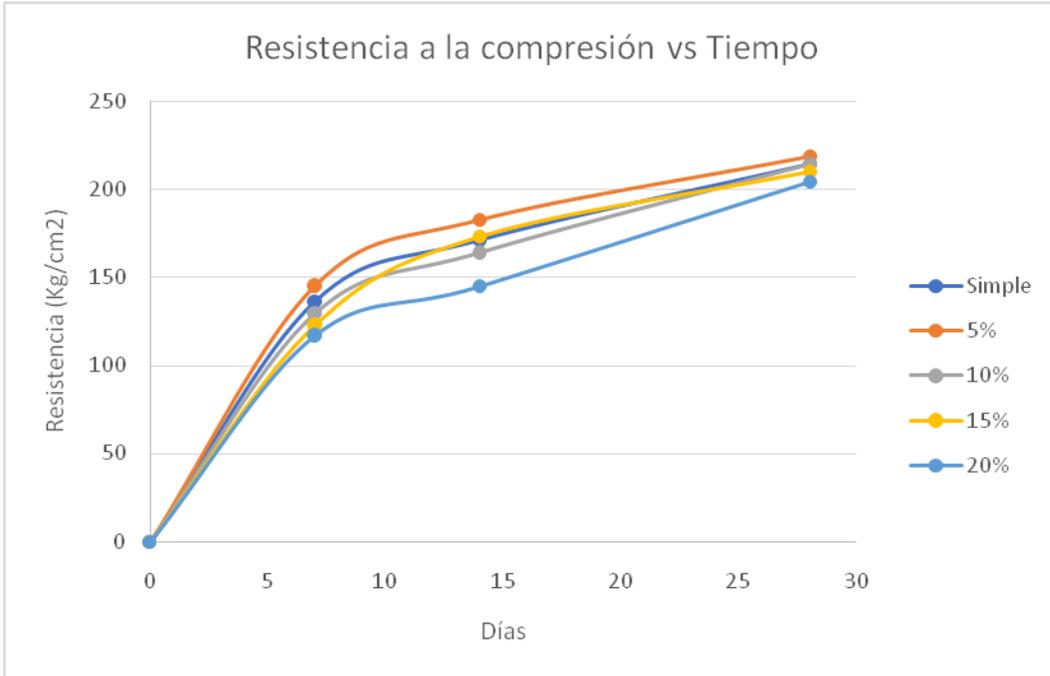
*Elaborado por:* Robayo, M. (2022)

**Tabla 7:**

Resultados de ensayo a compresión en cilindros

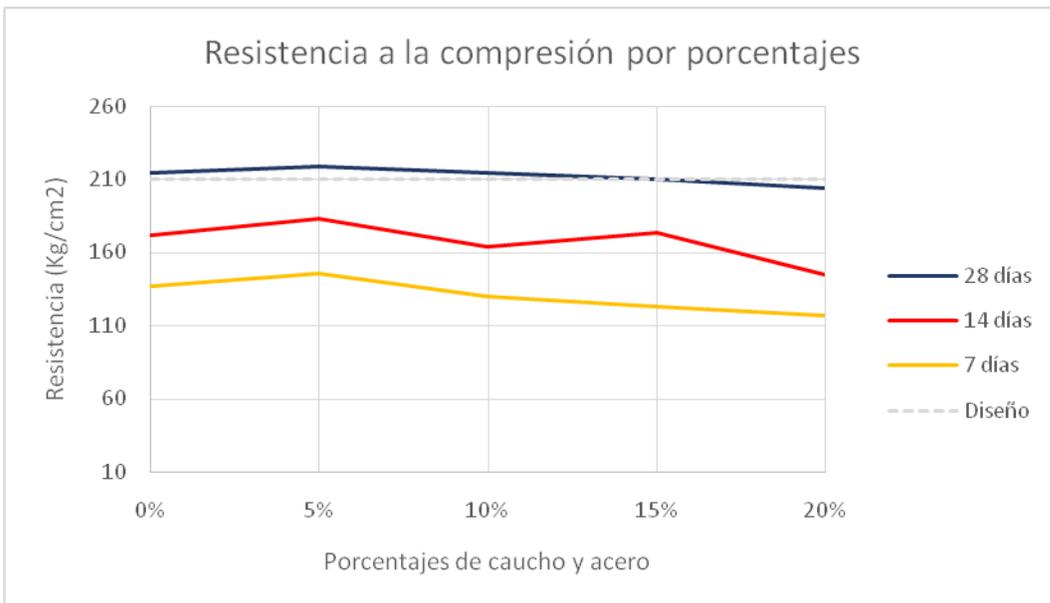
Hormigón	Resistencia en $\text{Kg/cm}^2$		
	7	14	28
Porcentaje de fibras			
Hormigón simple	136.64	171.31	214.34
05% de caucho y fibra de acero	145.62	182.84	218.83
10% de caucho y fibra de acero	129.81	164.17	214.34
15% de caucho y fibra de acero	122.98	173.05	209.86
20% de caucho y fibra de acero	117.06	144.80	204.04

*Elaborado por:* Robayo, M. (2022)



**Figura 28:** Curvas de resistencias a la compresión vs tiempo

*Elaborado por:* Robayo, M. (2022)



**Figura 29:** Resistencias a la compresión por porcentajes

*Elaborado por:* Robayo, M. (2021)

## 4.7 Análisis de resultados

**Tabla 8:**

Resultados de ensayo a compresión en cilindros a los 28 días

<b>Hormigón</b>	<b>Resistencia en Kg/cm<sup>2</sup></b>
Hormigón simple	214.34
05% de caucho y fibra de acero	218.83
10% de caucho y fibra de acero	214.34
15% de caucho y fibra de acero	209.86
20% de caucho y fibra de acero	204.04

*Elaborado por:* Robayo, M. (2022)

En la Tabla 8 se aprecian los resultados de la resistencia a la compresión de los diferentes hormigones a los 28 días de edad. Se evidencia un aumento o disminución de la resistencia a la compresión según el porcentaje de caucho y fibra que se adicione en la matriz de hormigón. Un ejemplo de esto, es la adición del 5% donde este porcentaje de incorporación permitió a la resistencia a la compresión incrementarse en un 7% en comparación con el porcentaje de adición más alto que es el 20%, es por ello, que la adición de fibras de acero y caucho reciclado luego de alcanzar su porcentaje óptimo (10%), este empieza a disminuir su resistencia.

Los resultados demuestran que para las dosificaciones de 5 y 10% se observó una resistencia que iguala la resistencia de diseño, mientras que, para los porcentajes del 15 y 20% se ve que presentan una ligera disminución de hasta un 3% respecto al diseño de la mezcla.

## CONCLUSIONES

- Se concluye que después de haber analizado la fibra de acero y caucho reciclado, al incorporarse en porcentajes bajos en la mezcla de hormigón, presenta resultados comparables a la mezcla tradicional.
- Mediante los ensayos de laboratorio se han determinado que los porcentajes óptimos de incorporación de fibra de acero y caucho reciclado está en el rango del 5 al 10%, reemplazando parcialmente al agregado grueso (piedra).
- La comparación de los resultados demuestran que para las porcentajes de 5 y 10% se observó una resistencia que iguala la resistencia de diseño, mientras que, para los porcentajes del 15 y 20% se ve que presentan una ligera disminución de hasta un 3% respecto al diseño de la mezcla.

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda la incorporación de la fibra de acero y caucho reciclado en las mezclas de hormigón, lo cual permite conservar la resistencia de diseño de las mezclas y mitigar el impacto ambiental de estos elementos reciclados.
- El porcentaje óptimo de incorporación de fibra de acero y caucho reciclado que se recomienda en base a esta investigación está en el rango del 5 al 10%.
- Se recomienda realizar futuras investigaciones con diferentes rangos de porcentajes, para poder conseguir una amplia gama de datos y así aplicar una desviación estándar y obtener datos con mayor precisión.

## BIBLIOGRAFÍA

- American Concrete Institute - ACI COMMITTEE 544 (2021). <https://cutt.ly/EYzyb74>
- Arias, F. (2012). El Proyecto de Investigación. Introducción a la metodología científica. Sexta Edición. Editorial Epísteme, C.A. ISBN: 980-07-8529-9.
- Arrieta, E. (2021). Método inductivo y deductivo. <https://www.diferenciador.com/diferencia-entre-metodo-inductivo-y-deductivo/>
- Asociación Americana de Ensayo de Materiales - ASTM (s/f.). Historical Standard: Especificación Normalizada para Agregados Livianos para Concreto Estructural. <https://n9.cl/mfxpr>
- Asociación CEMPRE Uruguay (2021). ¿Dónde reciclo?. <https://cutt.ly/dYzyW2k>
- Barciela, F. (2015). La fiebre del caucho se renueva. [https://elpais.com/economia/2015/05/22/actualidad/1432294855\\_616987.html](https://elpais.com/economia/2015/05/22/actualidad/1432294855_616987.html)
- Bustamante, C. (2021). Análisis comparativo de mezclas de hormigón con ripio y mezclas de hormigón tradicional. Investigación para título de Ingeniero Civil de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil.
- Cercle Humanista Multinivel. (2007). Cauchos, propiedades y aplicaciones. Barcelona: Martin Ferré.
- Chávez, C., Chara, P., Alarcón, M. y Fois, M. (2017). Influencia de la fibra de acero en el control de la tenacidad del hormigón simple. <https://www.recimundo.com/index.php/es/article/view/227>
- Ecuador, R. d. (2008). Constitución del Ecuador. Quito: República del Ecuador. [https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4\\_ecu\\_const.pdf](https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf)
- Ecuador, R. d. (2017). Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. Quito: Secretaria Nacional de Desarrollo. <https://n9.cl/znx4>
- EHE (2008). Anejo 14, Recomendaciones para la utilización de Hormigones con Fibras. Elastómeros y plásticos - Elaplas (2021). Caucho Natural NR. <https://www.elaplas.es/materiales/cauchos-y-elastomeros/caucho-natural-nr/>
- Empresa Pavimentos de Hormigón PAVICONJ (2021). Conoce los Tipos de Hormigón, Sus Aplicaciones y Sus Propiedades. <https://cutt.ly/ZYzyDx4>

- Fernández, J. (2014). Parámetros productivos del caucho (*Hevea brasiliensis*) y su relación espacial con las propiedades físicas y químicas del suelo. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. (2014). Metodología de la investigación. Sexta edición. McGraw-Hill, Interamericana Editores, S.A. de C.V. ISBN: 978-1-4562-2396-0
- Instituto Nacional de Estadísticas de Ecuador – INEC (2010). Censo Nacional Económico del Instituto Nacional de Estadísticas de Ecuador 2010. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Infoeconomia/info10.pdf>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC (2016). Estadísticas de transporte. <https://cutt.ly/XYzyZdI>
- Mármol, P. (2010). Hormigones con fibra de acero. Características mecánicas. <https://cutt.ly/1YzyVnv>
- Méndez, J. (2019). Elaboración de moldes de tejas, para techos con caucho reciclado para viviendas de interés social. <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/2729>
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOPE) Ecuador. (s/f). Gobierno del encuentro. <https://www.obraspublicas.gob.ec/>
- Nazer, A., Honores, A., Chulak, P. y Pavez, O. (2017). Hormigón sustentable basado en fibras de neumáticos fuera de uso. <https://cutt.ly/1Yzylx3>
- Norma técnica ecuatoriana de la construcción (NTE), (s/f). Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUV). <https://n9.cl/3ea88>
- Pekalais, C. El Kadi, O., Seijo, C. y Neuman, N. (2015). El ABC de la investigación. Pauta Pedagógica. Séptima edición.
- Peláez, G., Velásquez, S. y Giraldo, D. (2016). Aplicaciones de caucho reciclado: Una revisión de la literatura. <https://www.redalyc.org/journal/911/91150559002/html/>
- Pérez, J., & Merino, M. (2020). Definición de hormigón. <https://definicion.de/hormigon/>
- Ramos, H. (2012). Aplicación de Fibras Estructurales a los Pilotes tipo CPI 8. [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/15822/Tesis\\_Ramos.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/15822/Tesis_Ramos.pdf)
- Registro oficial suplemento No. 147, (Referente al medio ambiente). (1971). Código penal. [https://oig.cepal.org/sites/default/files/1970\\_codigopenal\\_ecuador.pdf](https://oig.cepal.org/sites/default/files/1970_codigopenal_ecuador.pdf)

- Registro Oficial No. 387. (2015). Ley de Ambiente.  
<http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155128.pdf>
- Rodríguez, J. & Segura, E. (2013). Análisis comparativo del efecto de los distintos tipos de fibras en el comportamiento post fisura del hormigón reforzado con fibras.  
<https://cutt.ly/zYzygCy>
- Reyes, D. & Villa, O. (2021). Prototipo de bloque simple más residuos carbonosos y caucho reciclado para mampostería de viviendas.  
<http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/4342>
- Tu Interfaz de Negocios (2013). Reciclaje de llantas: cómo convertir un problema ambiental en productos con valor agregado. <https://cutt.ly/BYzywN2>
- Troyano, M. (2019). Propiedades del hormigón. <https://cutt.ly/7YzypA8>
- Universidad Laica Vicente Rocafuerte - ULVR. (2019). Reglamento de titulación.  
<https://n9.cl/cbb6>
- Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil -ULVR (2020). Descripción de proyecto de investigación. <https://n9.cl/6nuu3>

# ANEXO 1: Ensayos granulométricos

## Ensayo granulométrico del agregado grueso

Paco Alcoser  
Laboratorio de Suelos  
y Mezclas Asfálticas

### GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO



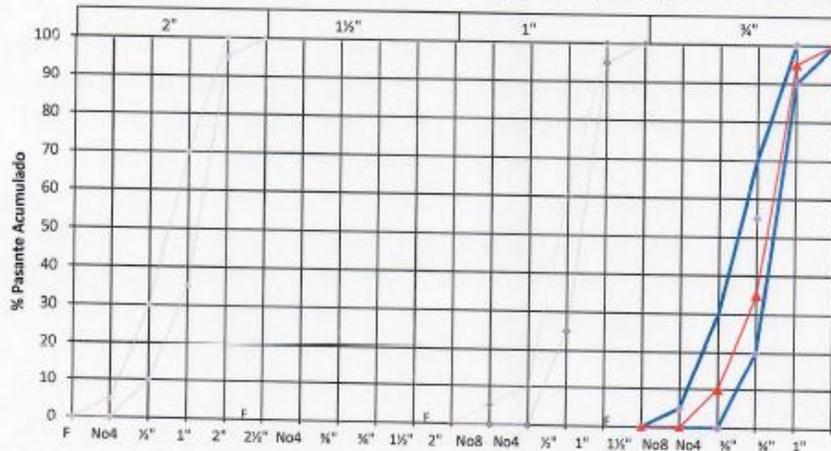
Proyecto : TESIS - SRTA MARY CARMEN ROBAYO SARMIENTO  
Tutor : MASTER MAX ALMEIDA

Fecha: 7 de marzo de 2022

Material : Aridos 3/4 "

### AGREGADO GRUESO

TAMIZ ASTM	PESO RETENIDO PARCIAL	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO	Especificaciones ASTM- C 33			
						2"	1 1/2 "	1"	3/4"
2 1/2"						100			
2"						95-100	100		
1 1/2"						-	95-100	100	
1"	0	0	0,00	0,00	100	35-70	-	95-100	100
3/4"	25	25	0,82	0,82	99,18	-	35-70	-	90-100
3/8"	1886	1911	62,22	63,05	36,95	10-30	-	25-60	-
3/16"	1046	2957	34,51	97,56	2,44	-	10-30	-	20-55
No.4	64	3021	2,11	99,67	0,33	0-5	0-5	0-10	0-10
No.8	10	3031	0,33					0-5	0-5
Fondo									
TOTAL	3031								



### TAMIZ ENSAYO DE HUMEDAD NATURAL

Recipiente No	Peso muestra húmeda + recipiente gr.	Peso muestra seca + recip. gr.	Peso de agua gr.	Peso de recipiente gr.	Peso muestra seca gr.	W %
C5	156,6	154,2	2,40	7,20	147,0	1,63

Proyecto: TESIS - SRTA MARY CARMEN ROBAYO SARMIENTO  
Tutor: MASTER MAX ALMEIDA

Fecha: 7 de marzo de 2022

Muestra: Arena 3/4"

ANÁLISIS DE GRUESO

TAMIZ ASTM	PESO RETENIDO PARCIAL	PESO RETENIDO ACUMULADO	PESO RETENIDO PARCIAL	PESO RETENIDO ACUMULADO	PESO PASANTE ACUMULADO	Fundación ASTM C-137					
						2"	1.5"	1"	0.75"		
20											
40											
60											
80											
100											
TOTAL											

**PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO**

Proyecto : TESIS - SRTA MARY CARMEN ROBAYO SARMIENTO  
Tutor : MASTER MAX ALMEIDA

Material : Arenas 3/4"

FECHA: 7 de marzo de 2022

PESO MAT. SATURADO Y SUPERFICIALMENTE SECO ( EN EL AIRE )	A	4000,00
PESO MAT. SATURADO Y SUPERFICIALMENTE SECO ( SUMERGIDO )	B	2512
VOLUMEN DE LA MASA + VOLUMEN DE VACIOS	C = (A-B)	1488,00
PESO DE MATERIAL SECO	D	3923,30
VOLUMEN DE LA MASA	E = C / (A - D)	1411,30
<b>PESO ESPECÍFICO BULK ( BASE SECA )</b>	D/C	<b>2,637</b>
<b>PESO ESPECÍFICO BULK (BASE SATURADA)</b>	A/C	<b>2,688 *</b>
<b>PESO APARENTE (BASE SECA)</b>	D/E	<b>2,780</b>
<b>ABSORCIÓN</b>	(A-D)/Dx100	<b>1,95</b>

Observaciones: Normas de ensayo ASTM C-127 ; AASHTO T- 85

\* El valor de la gravedad específica obtenido por medio de esta fórmula es el que generalmente se usa en los cálculos de mezclas.

Paco Alcoser  
Laboratorio de Suelos  
y Mezclas Asfálticas

**Peso Volumétrico Suelto, Varillado del  
Agregado Grueso**

Proyecto: TESIS - SRTA MARY CARMEN ROBAYO SARMIENTO  
Tutor: MASTER MAX ALMEIDA

FECHA: 8 de marzo de 2022

Material: Aridos 3/4"

**PESO VOLUMÉTRICO SUELTO (PVS)**

Ensayo	#	1	2	3
Volumen de Molde	m3	0,009331018	0,009331018	0,009331018
Peso de Molde	Kg	5,440	5,440	5,440
Peso del Agregado + Molde	Kg	19,388	19,434	19,477
Peso del Agregado	Kg	13,948	13,994	14,037
Peso Unitario Suelto	Kg/m3	1495	1500	1504
Prmedio			1500	Kg/m3

**PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO (PVV)**

Ensayo	#	1	2	3
Volumen de Molde	m3	0,009331018	0,009331018	0,009331018
Peso de Molde	Kg	5,440	5,440	5,440
Peso del Agregado + Molde	Kg	21,388	21,400	21,444
Peso del Agregado	Kg	15,948	15,960	16,004
Peso Unitario Suelto	Kg/m3	1709	1710	1715
Prmedio			1712	Kg/m3

Observaciones: Normas de Referencia: ASTM C29 ; AASHTO T19

# Ensayo granulométrico del agregado fino

Paco Alcoser  
Laboratorio de Suelos  
y Mezclas Asfálticas

## GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO



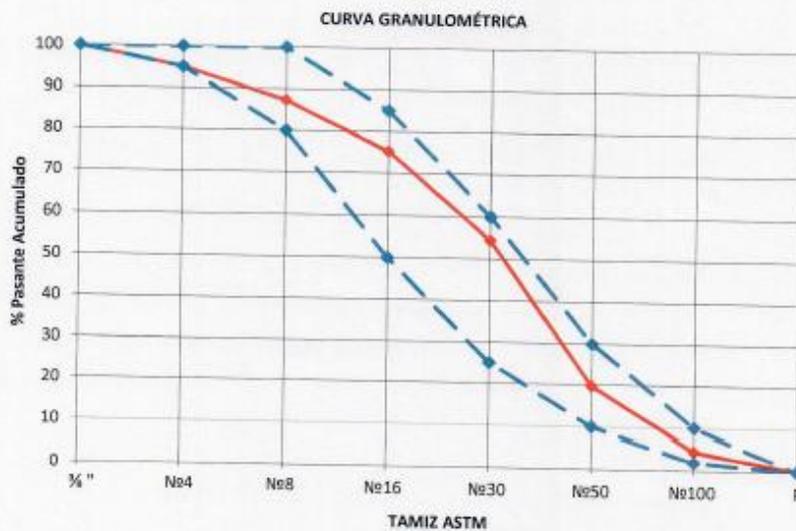
Proyecto : TESIS - SRTA MARY CARMEN ROBAYO SARMIENTO  
Tutor : MASTER MAX ALMEIDA

Fecha: 7 de marzo de 2022

Material: Arena de Río

TAMIZ ASTM	PESO RETENIDO PARCIAL	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO	ESPECIFICACIONES ASTM C-33
% "	0	0	0,00	0,00	100,00	100
Nº 4	88,00	88,00	5,03	5,03	94,97	95 - 100
Nº 8	134,00	222,00	7,67	12,70	87,30	80 - 100
Nº 16	210,00	432,00	12,01	24,71	75,29	50 - 85
Nº 30	366,00	798,00	20,94	45,65	54,35	25 - 60
Nº 50	605,00	1403,00	34,61	80,26	19,74	10 - 30
Nº 100	263,00	1666,00	15,05	95,31	4,69	2 - 10
fondo	82,00	1748,00	4,69	100,00	0,00	
<b>TOTAL</b>	<b>1748,00</b>					

MF= 2,64



CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL						
Recipiente Nº	Peso muestra húmeda + recipiente gr.	Peso muestra seca + recipiente gr.	Peso de agua gr.	Peso de recipiente gr.	Peso muestra seca gr.	Contenido de humedad %
C4	312	306	6,00	6,44	299,56	2,00

PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO



**Proyecto :** TESIS - SRTA MARY CARMEN ROBERTO SARRIENTO  
**Tutor:** MASTER MAX ALMEIDA  
**Material :** Arena de Río  
**FECHA:** 8 de marzo de 2022

PESO FRASCO (CALIBRADO CON AGUA)	A	541,89
PESO FRASCO (CALIBRADO CON AGUA) + PESO MATERIAL	B	1827,40
PESO FRASCO + AGUA + MATERIAL S.S.S. (EXTRAÍDO EL AIRE)	C	1624,66
VOLUMEN DE LA MASA + VOLUMEN DE VACIOS	$D = (B-C)$	202,7
PESO DE MATERIAL SECO	E	490,0
VOLUMEN DE LA MASA	$F = D - (\text{PESO MATERIAL S.S.S.} - E)$	192,7
PESO ESPECIFICO BULK (BASE SECA)	E/D	2,417
PESO ESPECIFICO BULK (BASE SATURADA)	MAT. SSS/D	2,467*
PESO APARENTE (BASE SECA)	E/F	2,543
ABSORCIÓN	$((A-E)/E) \times 100$	2,04

**Observaciones:** Normas de ensayo ASTM C-124 ; AASHTO T- 84

\* El valor de la gravedad específica obtenido por medio de esta fórmula es el que generalmente se usa en los cálculos de mezclas.

Paco Alcoser  
Laboratorio de Suelos  
y Mezclas Asfálticas

Peso Volumétrico Suelto del  
Agregado Fino

PROYECTO: TESIS - SRITA MARY CARMEN ROBAYO SARMIENTO  
PROYECTO: MAXTER MAX ALMEIDA

FECHA: 8 de marzo de 2022

Material : Arena de Río

**PESO VOLUMÉTRICO SUELTO (PVS)**

Ensayo	#	1	2	3
Volumen de Molde	m3	1,320	1,320	1,320
Peso de Molde	Kg	5,440	5,440	5,440
Peso del Agregado + Molde	Kg	7,360	7,379	7,362
Peso del Agregado	Kg	1,920	1,939	1,922
Peso Unitario Suelto	Kg/m3	1,455	1,469	1,456
Promedio			1,460	Kg/m3

Observaciones:

## ANEXO 2: Diseño del hormigón hidráulico $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

Pag. 1 de 3

### DISEÑO DE HORMIGÓN HIDRÁULICO

#### Requerimientos técnicos:

$F'c=$  210  $\text{Kg/cm}^2$   
 Revenimiento= $15$  cm  
 T.M.A.= 19 mm (1 pulgada)

#### Parámetros de laboratorio

Peso Esp. Cemento= $3150$   $\text{Kg/m}^3$       Peso Esp. Agua= $1000$   $\text{Kg/m}^3$

Agregado grueso (Grava)		Agregado fino (Arena)
DSSS= $2688$ $\text{Kg/m}^3$		DSSS= $2466$ $\text{Kg/m}^3$
P.V.V= $1712$ $\text{Kg/m}^3$		P.V.S= $1460$ $\text{Kg/m}^3$
P.V.S= $1500$ $\text{Kg/m}^3$		MF= $2.64$
Absorción= $1.95$ %		Absorción= $2.04$ %
Aditivo= $0$ % del peso del cemento		

#### Cálculo de la cantidad de agua por $1 \text{ m}^3$

La cantidad de agua se la evalúa con el revenimiento deseado y el T.M.A en la tabla 6.3.3 del ACI 211.1-91

Tabla 6.3.3; Diseño de mezclas de concreto - IMCYC

Revenimiento (cm)	Tamaño máximo de la grava (mm)							
	9.5	12.5	19	25	38	50	75	150
<b>Concreto sin aire incluido</b>								
2,5-5	207	199	190	179	166	154	130	113
7,5-10	228	216	205	193	181	169	145	124
15-17,5	243	228	216	202	190	178	160	...
Aire atrapado aprox.(%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
<b>Concreto con aire incluido</b>								
2,5-5	181	175	168	160	150	142	122	107
7,5-10	202	193	184	175	165	157	133	119
15-17,5	216	205	197	174	174	166	154	...
Promedio recomendado de aire a incluir según el tipo de exposición (%)								
Exp. Ligera	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
Exp. Moderada	6	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5	3
Exp. Severa	7.5	7	6	6	5.5	5	4.5	4

Cantidad de agua recomendada= $216$  ltrs

Uso de aditivo= $\text{No}$

Cantidad de agua a usar =  $216$  ltrs

#### Cálculo de la cantidad de cemento a usar en $1 \text{ m}^3$

Se obtiene a partir de la relación de agua/cemento (a/c) con resistencia de diseño ( $F'c$ ), de la tabla 6.3.4 del ACI211,1-91

**Tabla 6.3.4; Diseño de mezclas de concreto - IMCYC**

Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Relación a/c (a partir del peso)	
	Conc. Sin aire incl.	Conc. Con aire incl.
420	0.41	...
350	0.48	0.4
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

Para una resistencia de  $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  la relación agua/cemento es

$$a/c = 0.68$$

$$\text{Cantidad de cemento} = 317.7 \text{ Kg}$$

Para efecto más práctico se usara:

$$\text{Cantidad de cemento} = 318 \text{ Kg}$$

$$\text{Cantidad de agua} = 216 \text{ Kg}$$

$$a/c = 0.68$$

**Cálculo de la cantidad de grava y arena a usar en 1 m<sup>3</sup>**

$$V = \frac{\text{Peso}}{\text{Densidad}}$$

$$V_{\text{cem}} = 0.101 \text{ m}^3 = 100.95 \text{ dm}^3$$

$$V_{\text{agua}} = 0.216 \text{ m}^3 = 216.24 \text{ dm}^3$$

Se determina el volumen de agregado grueso (m<sup>3</sup>) por volumen de concreto de la tabla 6.3.6 del ACI 211,1-91

Tamaño máximo agregado	Modulo de finura de la arena			
	2.4	2.6	2.8	3.0
9.5	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
19	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
75	0.82	0.80	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

$$\text{Coeficiente} = 0.636$$

$$V_{\text{grav}} = 0.405 \text{ m}^3 = 405.07 \text{ dm}^3$$

Aire atrapado aproximadamente en % según la tabla 6,3,3 ACI 211,1-91

$$\text{Aire (\%)} = 2 \rightarrow \text{Vol. Aire} = 20 \text{ dm}^3$$

Volumen de arena sería igual a 1000 dm<sup>3</sup> - (V<sub>cem</sub>+V<sub>agu</sub>+V<sub>gra</sub>+V<sub>air</sub>)

$$V_{\text{are}} = 258 \text{ dm}^3 = 0.258 \text{ m}^3$$

Verificamos que el % de arena sea máximo el 40% de la suma de (V<sub>gra</sub>+V<sub>are</sub>)

$$V_{\text{agregados}} = 663 \text{ dm}^3$$

$$\%V_{\text{are}} = 39$$



**INFORME DE ROTURA DE CILINDROS DE HORMIGÓN**

ASTM C - 39



Proyecto: TESIS-SRTA MARY CARMEN ROBAYO SARMIENTO  
Tutor: MASTER MAX ALMEIDA

Hormigón FC= 210 Kg/Cm<sup>2</sup>

Cilindro #	Fecha de toma	Fecha de Rotura	Edad (Días)	D1 (mm)	D2 (mm)	D Promedio (mm)	Fuerza De Rotura (kn)	Resistencia (Mpa)	% De Resistencia De Diseño	Observaciones
1	10/03/2022	17/03/2022	7	150,0	150,0	150,0	236,6	13,40	67%	HS DISEÑO
2	10/03/2022	24/03/2022	14	150,0	150,0	150,0	296,7	16,80	80%	HS DISEÑO
3	10/03/2022	07/04/2022	28	150,0	150,0	150,0	371,2	21,02	100%	HS DISEÑO

## INFORME DE ROTURA DE CILINDROS DE HORMIGÓN

ASTM C - 39



**Proyecto:** TESIS-SRITA MARY CARMEN ROBAYO SARMIENTO  
**Tutor:** MASTER MAX ALMEIDA

Hormigón FC= 210 Kg/Cm<sup>2</sup>

Cilindro #	Fecha de toma	Fecha de Rotura	Edad (Días)	D1 (mm)	D2 (mm)	D Promedio (mm)	Fuerza De Rotura (kn)	Resistencia (Mpa)	% De Resistencia De Diseño	Observaciones
1	10/03/2022	17/03/2022	7	150,0	150,0	150,0	252,2	14,28	68%	5%±4% DE CAUCHO-1 % F. DE ACERO
2	10/03/2022	24/03/2022	14	150,0	150,0	150,0	316,6	17,93	85%	5%±4% DE CAUCHO-1 % F. DE ACERO
3	10/03/2022	07/04/2022	28	150,0	150,0	150,0	378,9	21,46	102%	5%±4% DE CAUCHO-1 % F. DE ACERO

## INFORME DE ROTURA DE CILINDROS DE HORMIGÓN



ASTM C - 39

**Proyecto:** TESIS –SRITA MARY CARMEN ROBAYO SARMIENTO  
**Tutor:** MASTER MAX ALMEIDA

Hormigón FC= 210 Kg/Cm<sup>2</sup>

Cilindro #	Fecha de toma	Fecha de Rotura	Edad (Días)	D1 (mm)	D2 (mm)	D Promedio (mm)	Fuerza De Rotura (kn)	Resistencia (Mpa)	% De Resistencia De Diseño	Observaciones
1	10/03/2022	17/03/2022	7	150,0	150,0	150,0	224,8	12,73	61%	100%=8% DE CALUCHO -2% F. DE ACERO
2	10/03/2022	24/03/2022	14	150,0	150,0	150,0	284,3	16,10	77%	100%=8% DE CALUCHO -2% F. DE ACERO
3	10/03/2022	07/04/2022	28	150,0	150,0	150,0	371,2	21,02	100%	100%=8% DE CALUCHO -2% F. DE ACERO