



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL.**

**TEMA: ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE PANELES
PREFABRICADOS NO ESTRUCTURALES DE HORMIGÓN CON
INCLUSIÓN DE FIBRA DE CAUCHO RECICLADO DE NEUMÁTICOS
FUERA DE USO (NFU).**

AUTOR: LUJE PANELUISA DARWIN DANIEL

DIRECTOR: ING. DURÁN CARRILLO, JOSÉ RICARDO.

SANGOLQUÍ

2018



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, ***“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE PANELES PREFABRICADOS NO ESTRUCTURALES DE HORMIGÓN CON INCLUSIÓN DE FIBRA DE CAUCHO RECICLADO DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO (NFU).”*** realizado por el señor ***DARWIN DANIEL LUJE PANELUISA***, ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 24 de agosto del 2018

Firma:

Ing. José Ricardo Durán Carrillo

DIRECTOR

C.C: 1706351192



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **DARWIN DANIEL LUJE PANELUISA**, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación **“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE PANELES PREFABRICADOS NO ESTRUCTURALES DE HORMIGÓN CON INCLUSIÓN DE FIBRA DE CAUCHO RECICLADO DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO (NFU)”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas. Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 24 de agosto del 2018

Firma:

Darwin Daniel Lujé Paneluisa

C.C:1721250320



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

AUTORIZACIÓN

Yo, **DARWIN DANIEL LUJE PANELUISA**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación **“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE PANELES PREFABRICADOS NO ESTRUCTURALES DE HORMIGÓN CON INCLUSIÓN DE FIBRA DE CAUCHO RECICLADO DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO (NFU)”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 24 de agosto del 2018

Firma:

Darwin Daniel Lujé Paneluisa

C.C:1721250320

DEDICATORIA

A Dios por permitirme estar con salud y todas las bendiciones brindadas para poder alcanzar esta meta.

A mis padres Juan Pablo y María y mis hermanos Pablo Andrés y Catherine por brindarme su amor y ser el apoyo fundamental cada día y motivarme para poder salir adelante y poder cumplir este sueño tan anhelado.

Darwin Daniel Lujé Paneluís

AGRADECIMIENTO

De manera muy especial a mis padres quienes confiaron en mí y por todo el esfuerzo realizado durante todo este tiempo para poder brindarme la educación y contribuir con mi formación personal.

A mis hermanos y toda mi familia por su cariño, amistad y amor brindado, además agradecer infinitamente por estar apoyándome en las buenas y malas durante toda esta vida de formación para ser un profesional.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe, por permitirme formar profesionalmente con una educación de calidad en la carrera de Ingeniería Civil.

A cada uno de los docentes que durante todo este tiempo brindaron sus conocimientos para poder crecer profesionalmente, en especial al Ing. Ricardo Durán, director de este proyecto de investigación quién apoyo, guio y compartió su experiencia en este proyecto de investigación.

Agradecer al Ing. Juan Haro por la ayuda prestada y todos los conocimientos compartidos para poder realizar cada uno de los ensayos en el laboratorio.

A cada uno de mis compañeros y amigos que formaron parte de toda esta vida universitaria, en especial al grupo que conformamos los “Broderes” por la gran amistad brindada y por todas las experiencias vividas dentro y fuera de esta prestigiosa Universidad como lo es la ESPE.

Darwin Daniel Luje Panelúsa.

CONTENIDO

CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORIA DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
CONTENIDO.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT	xvii
CAPITULO I.....	1
GENERALIDADES	1
1.1. Introducción	1
1.2. Antecedentes del Hormigón.....	2
1.3. Antecedentes de Neumáticos.....	3
1.4. Definición del problema.....	3
1.5. Área de influencia	4
1.6. Justificación e Importancia.....	5
1.7. Objetivos	6
1.7.1. Objetivo general.....	6
1.7.2. Objetivos específicos	6
1.8. Metas	7
1.9. Hipótesis	7
CAPÍTULO II.....	8
CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS	8
2.1. Descripción General.....	8

2.2. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS.....	8
2.2.1. Muestreo. NTE INEN 695.	8
2.2.2. Granulometría de áridos. NTE INEN 696.....	10
2.2.2.1. Equipo.....	10
2.2.2.2. Materiales	11
2.2.2.3. Procedimiento.....	12
2.2.2.4. Resultados.....	13
2.2.3. Resistencia a abrasión del árido grueso. NTE INEN 860.....	16
2.2.3.1. Equipo.....	16
2.2.3.2. Materiales	17
2.2.3.3. Procedimiento.....	18
2.2.3.4. Resultados.....	18
2.2.4. Determinación de la densidad específica y absorción del árido fino. NTE INEN 856.....	19
2.2.4.1. Equipo.....	19
2.2.4.2. Materiales	19
2.2.4.3. Procedimiento.....	20
2.2.4.4. Resultados.....	21
2.2.5. Determinación de la densidad específica y absorción del árido fino. NTE INEN 857.....	22
2.2.5.1. Equipo.....	22
2.2.5.2. Materiales	22
2.2.5.3. Procedimiento.....	23
2.2.5.4. Resultados.....	25
2.2.6. Determinación de densidad suelta y compactada del agregado fino y grueso NTE INEN 858.	25
2.2.6.1. Equipo.....	26
2.2.6.2. Materiales	27
2.2.6.3. Procedimiento.....	28
2.2.6.4. Resultados.....	28

2.2.7. Determinación de humedad en áridos para hormigón NTE INEN 862.....	30
2.2.7.1. Equipo.....	30
2.2.7.2. Materiales	30
2.2.7.3. Procedimiento.....	31
2.2.7.4. Resultados.....	32
CAPÍTULO III.....	33
CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA DE CAUCHO RECICLADO DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO (NFU).....	33
3.1. Introducción.	33
3.2. Definición del caucho.....	33
3.3. Reciclaje de Neumáticos en el Ecuador.....	34
3.3.1. Fibra de caucho de neumáticos fuera de uso (NFU)	36
3.3.2. Propiedades de la fibra de caucho reciclado.	37
3.3.2.1. Granulometría de la fibra de caucho reciclado	37
3.3.2.2. Determinación del peso específico de la fibra de caucho reciclado.....	39
3.3.2.3. Determinación de la densidad suelta y compacta de la fibra de caucho.....	40
CAPÍTULO IV	42
DOSIFICACIÓN Y ELABORACIÓN DE PANELES NO ESTRUCTURALES DE HORMIGÓN	42
4.1. Definición de Hormigón.....	42
4.2. Componentes del Hormigón	43
4.2.1. Cemento	43
4.2.2. Agregados.....	43
4.2.3. Agua.....	44
4.3. Dosificación del hormigón	44
4.4. Elaboración de especímenes de hormigón.....	49
4.4.1. Hormigón sin fibra de caucho.	52
4.4.2. Hormigón con fibra de caucho reciclado.....	54
4.4.3. Consistencia del hormigón.....	58
4.5. Curado de especímenes.....	59

4.6. Determinación de la resistencia a la compresión.....	60
4.7. PANELES NO ESTRUCTURALES	61
4.7.1. Tipos de paneles.....	61
4.7.1.1. Paneles portantes	61
4.7.1.2. Paneles no portantes	61
4.7.2. Elaboración de paneles.....	62
4.7.2.1. Dimensiones.	62
4.7.2.2. Procedimiento.....	63
4.7.2.3. Curado	66
4.7.3. Determinación de la resistencia a la flexión.	67
CAPÍTULO V	68
RESULTADOS	68
5.1. Resultados y Análisis de la resistencia a la compresión	68
5.2. Resultados ensayo a flexión de los paneles no estructurales.....	70
5.3. Módulo de elasticidad del hormigón.....	73
5.4. Costos.....	76
CAPÍTULO VI	79
6.1. CONCLUSIONES.....	79
6.2. RECOMENDACIONES.....	80
Referencias Bibliográficas	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Tamaño de la muestra para ensayo del árido grueso.</i>	11
Tabla 2. <i>Ensayo granulométrico del agregado fino.</i>	13
Tabla 3. <i>Ensayo granulométrico del agregado grueso.</i>	14
Tabla 4. <i>Corrección Granulometría Agregado Fino.</i>	15
Tabla 5. <i>Especificaciones para la carga.</i>	17
Tabla 6. <i>Gradación de las muestras de ensayo.</i>	17
Tabla 7. <i>Gradación del agregado grueso.</i>	18
Tabla 8. <i>Determinación de pesos específicos y absorción de agua del agregado fino.</i> 21	
Tabla 9. <i>Masa mínima de la muestra para el ensayo.</i>	23
Tabla 10. <i>Determinación de pesos específicos y absorción de agua del agregado grueso.</i>	25
Tabla 11. <i>Capacidad de los moldes.</i>	26
Tabla 12. <i>Densidad suelta Agregado Fino.</i>	29
Tabla 13. <i>Densidad compactada Agregado Fino.</i>	29
Tabla 14. <i>Densidad suelta Agregado Grueso.</i>	29
Tabla 15. <i>Densidad compactada Agregado Grueso.</i>	30
Tabla 16. <i>Porcentaje de Humedad de los áridos.</i>	32
Tabla 17. <i>Granulometría de la fibra de caucho reciclado.</i>	38
Tabla 18. <i>Peso específico de la fibra de caucho.</i>	40
Tabla 19. <i>Densidad suelta de la fibra de caucho</i>	41
Tabla 20. <i>Densidad compactada de la fibra de caucho</i>	41
Tabla 21. <i>Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción.</i>	45
Tabla 22. <i>Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire.</i>	45
Tabla 23. <i>Resistencia promedio a la compresión cuando no hay datos para establecer una desviación estándar de la muestra.</i>	46
Tabla 24. <i>Correspondencia entre la relación agua / cemento y la resistencia a la compresión</i>	47

Tabla 25. <i>Volumen de agregado grueso(m³) por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura del agregado fino.....</i>	48
Tabla 26. <i>Dosificación del hormigón para una resistencia igual 180kg/cm².....</i>	48
Tabla 27. <i>Requisitos para el diámetro de la varilla de compactación.....</i>	50
Tabla 28. <i>Requisitos para el moldeo mediante varillado en cilindros.....</i>	51
Tabla 29. <i>Volumen de hormigón para 1 cilindro.....</i>	52
Tabla 30. <i>Cantidad de material para elaborar 2 cilindros de hormigón.</i>	53
Tabla 31. <i>Dosificación para 2 cilindros.....</i>	56
Tabla 32. <i>Cantidad de fibra de caucho de acuerdo con el porcentaje a reemplazar....</i>	56
Tabla 33. <i>Cantidad de Arena de acuerdo con el porcentaje de caucho reemplazado.</i>	57
Tabla 34. <i>Consistencia y Asentamiento. Ensayo cono Abrams.</i>	58
Tabla 35. <i>Resultados del Asentamiento del Hormigón.</i>	59
Tabla 36. <i>Resistencia a la compresión con inclusión de fibra de caucho (Prueba 1)...</i>	69
Tabla 37. <i>Resistencia a la compresión con inclusión de fibra de caucho (Prueba 2)...</i>	69
Tabla 38. <i>Carga a la flexión resistida por el panel tipo I.....</i>	71
Tabla 39. <i>Carga a la flexión resistida por el panel tipo II.....</i>	72
Tabla 40. <i>Peso de una tapa del panel.....</i>	73
Tabla 41. <i>Porcentaje de reducción del peso.</i>	73
Tabla 42. <i>Resultados de Módulo de elasticidad.....</i>	74
Tabla 43. <i>Precios del hormigón con inclusión de fibra de caucho en diferentes porcentajes.</i>	77
Tabla 44. <i>Costos de paneles no estructurales de hormigón.</i>	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cantera sector El Chasqui.....	9
Figura 2. Banda Transportadora.....	9
Figura 3. Equipo para ensayo granulométrico.....	10
Figura 4. Muestra de árido fino NTE INEN 696.....	11
Figura 5. Muestra de árido grueso NTE INEN 696.....	12
Figura 6. Curva granulométrica del agregado fino.....	13
Figura 7. Curva granulométrica del agregado grueso.....	14
Figura 8. Corrección de la curva granulométrica del agregado fino.....	16
Figura 9. Muestra de árido fino.....	19
Figura 10. Adición de muestra (a), y eliminación de aire del picnómetro(b).....	21
Figura 11. Muestra saturada en agua.....	22
Figura 12. Muestra superficialmente seca.....	23
Figura 13. Muestra sobre paño absorbente.....	24
Figura 14. Masa aparente saturada en agua.....	24
Figura 15. Equipo. Norma NTE INEN 858.....	26
Figura 16. Muestra de árido fino NTE INEN 858.....	27
Figura 17. Muestra de árido grueso NTE INEN 858.....	27
Figura 18. Masa seca de áridos NTE INEN 862.....	31
Figura 19. Importaciones de neumáticos 2012 - 2016 (Ene - Nov).....	34
Figura 20. Reciclaje de neumáticos en el Ecuador.....	35
Figura 21. Planta de reencauchado Durallanta S.A.....	36
Figura 22. Fibra de caucho.....	36
Figura 23. Tamaño muestra fibra de caucho.....	37
Figura 24. Curva granulométrica de la fibra de caucho.....	38
Figura 25. Muestra ensayo peso específico del caucho.....	39
Figura 26. Ensayo gravimétrico (Densidad del caucho).....	39
Figura 27. Ensayo densidad volumétrica del caucho.....	40
Figura 28. Hormigón fresco.....	42

Figura 29. Material inorgánico.	42
Figura 30. Cemento Portland.....	43
Figura 31. Concretera y muestra de hormigón.	49
Figura 32. Equipo para elaborar especímenes. NTE INEN 1 576.	50
Figura 33. Elaboración de especímenes.	52
Figura 34. Material para elaborar cilindros.....	54
Figura 35. Cilindros de hormigón.....	54
Figura 36. Material para elaborar hormigón con fibra de caucho.....	57
Figura 37. Cilindros de hormigón con fibra de caucho.....	57
Figura 38. Medición de asentamiento.....	58
Figura 39. Curado rápido de probetas de hormigón.....	59
Figura 40. Determinación de la Resistencia a la compresión.	60
Figura 41. Dimensiones de panel no estructural.....	62
Figura 42. Vista lateral frontal panel no estructural.....	63
Figura 43. Unión de 2 paneles.....	63
Figura 44. Encofrado de los paneles.	63
Figura 45. Elaboración de hormigón.....	64
Figura 46. Fundición de paneles.....	64
Figura 47. Panel fresco y terminado.....	65
Figura 48. Desencofrado de paneles.....	65
Figura 49. Retiro de tubería PVC.....	65
Figura 50. Piscina para curar paneles.....	66
Figura 51. Curado de Paneles.....	66
Figura 52. Panel sometido a carga puntual.....	67
Figura 53. Resistencia a la compresión del Hormigón con inclusión de fibra de caucho.....	70
Figura 54. Panel tipo I.....	71
Figura 55. Panel tipo II.....	71
Figura 56. Peso de una tapa de panel.....	72
Figura 57. Ensayo para determinar el módulo de elasticidad.....	74

Figura 58. Curvas esfuerzo vs Deformación.....	75
Figura 59. Costos de hormigón con inclusión de fibra de caucho en diferentes porcentajes.....	77
Figura 60. Costo de paneles.....	78

RESUMEN

El presente proyecto de investigación tiene como finalidad analizar el comportamiento de paneles prefabricados no estructurales de hormigón incluyendo la fibra de caucho de los neumáticos fuera de uso (NFU) en su dosificación. Para esto se realizó diferentes ensayos a los agregados que conforman el hormigón. A partir de la dosificación se elaboró probetas de hormigón con diferentes porcentajes de fibra de caucho que reemplazó por el mismo porcentaje de volumen del agregado fino. Después de curado los cilindros con inclusión de la fibra de caucho se ensayaron para verificar la resistencia a la compresión y se encontró que el porcentaje óptimo de caucho en el hormigón es del 17% cuando se reemplaza en relación con el volumen de la arena. Con estos resultados se procede a elaborar los paneles no estructurales, los porcentajes de la fibra de caucho para los paneles es de 0%, 15%, 17%, 19% y 50%. Luego de un periodo de curado de 28 días se ensaya a flexión a los paneles obteniendo resultados muy considerables como: la resistencia a la flexión con un porcentaje del 15% mejora respecto a la resistencia de los paneles sin fibra de caucho. En cuanto al peso de los paneles se reduce un 7,09% y el módulo de elasticidad del hormigón mientras mayor es el porcentaje de caucho este va disminuyendo. En relación con el precio, disminuye al incorporar el caucho en la dosificación del hormigón. En conclusión, el porcentaje óptimo de la incorporación de fibra de caucho de acuerdo con los resultados de compresión y ensayo a la flexión es el 16%.

PALABRAS CLAVES:

- **PANELES NO ESTRUCTURALES**
- **FIBRA DE CAUCHO**
- **HORMIGÓN**

ABSTRACT

This research project is to analyze the behavior of prefabricated non-structural concrete panels including the rubber fiber of the out-of-use tires (NFU) in their dosage. For this, different tests were performed on the aggregates that make up the concrete. From the dosing, concrete specimens with different percentages of rubber fiber were processed and replaced by the same volume percentage of the fine aggregate. After curing the cylinders including the rubber fiber were tested to verify the compressive strength and it was found that the optimum percentage of rubber in the concrete is 17% when it is replaced in relation to the volume of the sand. With these results we proceed to elaborate the non-structural panels, the percentages of the rubber fiber for the panels is 0%, 15%, 17%, 19% and 50%. After a curing period of 28 days, the panels are subjected to bending, obtaining very considerable results such as: the resistance to bending with a 15% improvement compared to the strength of the panels without rubber fiber. As for the weight of the panels, it is reduced by 7.09% and the modulus of elasticity of the concrete while the percentage of rubber is decreasing. In relation to the price, it decreases when incorporating the rubber in the dosage of the concrete. In conclusion, the optimum percentage of the incorporation of rubber fiber according to the results of compression and bending test is 16%.

KEYWORDS:

- **NON-STRUCTURAL PANELS**
- **RUBBER FIBER**
- **CONCRETE**

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1. Introducción

La construcción de obras es un indicador del desarrollo de ciudades y naciones en todo el mundo. En la actualidad, se busca el desarrollo económico de cada lugar con la realización de nuevos proyectos de obra civil, los cuales satisfagan las necesidades de los seres humanos. La industria de la construcción para cumplir con cada una de las necesidades de la población debe implementar mejoras en cada uno de los procesos, lo que conlleva a buscar nuevas tecnologías como material de construcción, y que el desarrollo de los procesos permita ser cuidadosos con el medio ambiente.

“El sector de la construcción utiliza el 40% de las materias primas en el mundo, que equivalen a 3000 millones de toneladas por año, y en el cual se produce una gran contaminación al extraer materiales pétreos” (Acevedo, Vásquez, & Ramirez, 2012).

En el Ecuador la elaboración de los mampuestos es de forma artesanal, por lo tanto, no cumplen las normativas que requieren este tipo de elementos, y no brindan una seguridad estructural adecuada. Por tal motivo, es necesario que la industria de la construcción ayude a mejorar los elementos constructivos de mampostería mediante la incorporación de materiales sustentables.

Con respecto a los neumáticos fuera de uso (NFU) en el sector del cantón Rumiñahui, se ha iniciado la gestión de reciclaje de los residuos sólidos, pero abandonando el tema de los desechos especiales son las llantas usadas (Carrillo Flor &

Córdova Tafur, 2012). Por lo que nos impulsa a buscar la manera de reutilizar los neumáticos en la elaboración de paneles prefabricados no estructurales de hormigón.

El proyecto consiste en la elaboración de hormigón, con inclusión de un porcentaje de fibra de caucho reciclado de neumáticos fuera de uso (NFU) en su dosificación y aplicarlo en la fabricación de pequeños paneles no estructurales para ser usados como mampostería. Para este estudio se realizarán ensayos en el laboratorio, aplicando las normas INEN. Con todos los resultados obtenidos se realizará un análisis de los beneficios que genera este nuevo elemento.

1.2. Antecedentes del Hormigón.

Dentro de la historia del hormigón los avances científicos y tecnológicos han permitido grandiosos progresos, lo cual ha mejorado la resistencia, durabilidad y las características físico - químicas del hormigón revolucionando sus aplicaciones futuras.

El hormigón es una piedra artificial formada por áridos naturales (arena y grava) cementados por una pasta conglomerante hidráulica, es decir, que fragua tanto expuesta al aire como sumergida en agua y, a temperatura ambiente. Los conglomerantes hidráulicos más utilizados son los cementos (Medina, 2008).

Las presas, las bases de las carreteras y pistas de los aeropuertos, no son más que ejemplos sacados al azar, donde los volúmenes de hormigón se miden en centenares de miles de metros cúbicos cuando no en millones (Páez, 1986).

1.3. Antecedentes de Neumáticos.

La vulcanización del caucho fue descubierta en 1839 por Charles Goodyear, este descubrimiento es la principal causa para que años después John Boyd Dunlop invente el neumático en 1887, así generando el desarrollo de la sociedad por medio de automóviles los cuales necesitan funcionar con la utilización de los neumáticos (El comercio, 2012).

El depósito de neumáticos fuera de uso (NFU) alrededor del mundo provoca impacto ambiental, para reducir la cantidad de llantas usadas se debe encontrar diferentes alternativas de reutilización. Además, los lineamientos del Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 dan prioridad a proyectos que ayuden a disminuir el impacto ambiental y mejorar la calidad de vida, por esto se plantea la adición de caucho en la fabricación de paneles no estructurales de hormigón.

Durante muchos años los neumáticos de vehículos ha sido acumulado o botado en zonas públicas, lo que ha venido causando un problema grave al medio ambiente y la salud pública, un porcentaje de estas llantas ha sido reprocesado y utilizado (DAMA, 2006).

1.4. Definición del problema.

En el Ecuador, la mampostería está formada por mampuestos y mortero, por lo que evidentemente en el país, los mampuestos se fabrican de forma artesanal, sin control de calidad y con escasa tecnología, por tal motivo, las mamposterías al no tener un sustento científico y experimental suficiente, resultan ser productos diferentes a los que

se esperan en la planificación y no brindan una respuesta estructural adecuada, generando un riesgo latente en las ciudades. Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), en el año 2015, alrededor del 53% de las viviendas tienen estructura de hormigón armado y mampostería de bloque, mientras que el 40% tienen estructura de hormigón armado y mampostería de ladrillo.

En la actualidad, el país no presenta muchas alternativas de uso de material reciclado en la elaboración de elementos constructivos, además, el costo elevado que tiene la construcción tanto en mano de obra como en los materiales hace que se busquen nuevas alternativas o tecnologías para la elaboración de viviendas, edificios, entre otros. Por este motivo, se propone utilizar el caucho de los neumáticos fuera de uso (NFU), en la elaboración de pequeños paneles prefabricados no estructurales de hormigón, y así poder generar una nueva opción sustentable de fabricación de elementos de mampostería que ayude a mejorar la seguridad en caso de eventos sísmicos, y también tratando de bajar los costos y los tiempos posibles de la construcción.

1.5. Área de influencia

Este proyecto involucra a la industria de la construcción a nivel nacional, siendo una opción como material de construcción, además un aporte a la disminución de la contaminación ambiental.

1.6. Justificación e Importancia

La presente investigación tiene el fin de implementar nuevos materiales y elementos alternativos de construcción que reduzcan los costos y tiempo de mano de obra posible de construcción y ayude a reducir la contaminación ambiental, además que genere en las construcciones mayor resistencia ante las cargas sísmicas.

Por otro lado, el alto consumo de materiales para la elaboración de mampuestos de hormigón genera una excesiva explotación de materias primas, que habitualmente se encuentran en la naturaleza, siendo la extracción de recursos naturales generador de afectaciones ambientales y paisajísticas.

Considerando la mala elaboración y baja resistencia de los mampuestos, se plantea un nuevo elemento de construcción el cual incluye la reutilización de fibra de caucho de las llantas como material en la mezcla de hormigón para la elaboración de paneles no estructurales, presentando así una medida para contribuir al beneficio ambiental, técnico y económico para la sociedad.

El propósito de la investigación es evaluar la viabilidad técnica de incorporar fibras provenientes de neumáticos fuera de uso (NFU) como materiales para la elaboración de paneles prefabricados no estructurales de hormigón, además conocer las características físicas y mecánicas que adquiere el panel de hormigón al unir agregados naturales con reciclados y así analizar los resultados de los diferentes ensayos y encontrar conclusiones y recomendaciones sobre este nuevo elemento para la construcción.

Al determinar la factibilidad de la inclusión de fibra de caucho de los neumáticos fuera de uso para la elaboración de paneles no estructurales de hormigón, se puede decir que se generará un avance investigativo, que favorecerá no solo en la construcción, sino que se encontrará una solución que permita desaparecer toneladas de neumáticos fuera de uso (NFU) que año tras año aumenta con la demanda de autos, y también ayudará significativamente a reducir el costo que presenta actualmente la mampostería en porcentaje con la obra total, debido a que esta es la piel de cualquier estructura.

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo general

Analizar el comportamiento de paneles prefabricados no estructurales de hormigón con inclusión de fibra de caucho reciclado de neumáticos fuera de uso (NFU), para reducir costos en la construcción.

1.7.2. Objetivos específicos

- Determinar el porcentaje óptimo de partículas de caucho reciclado de llantas, en la dosificación para la elaboración del hormigón.
- Elaborar paneles no estructurales de hormigón con inclusión de fibras de caucho de neumáticos fuera de uso (NFU), con el fin de realizar ensayos de laboratorio.
- Evaluar las características físicas y mecánicas de probetas de hormigón que contengan fibras de caucho recicladas.

1.8. Metas

- Determinación de las propiedades físicas de las partículas de caucho reciclado de diferente procedencia y marca, a utilizarse en la dosificación para la elaboración de hormigón con inclusión de fibra de caucho reciclado de neumáticos fuera de uso (NFU).
- Ensayo de resistencia a la flexión de paneles no estructurales de hormigón.
- Ensayos de resistencia a la compresión, y determinación del módulo de elasticidad del hormigón con inclusión de fibra de caucho.

1.9. Hipótesis

La utilización de fibras de caucho reciclado de neumáticos fuera de uso (NFU) en la elaboración de paneles no estructurales de hormigón ayuda a mejorar la resistencia a la flexión y reducir costos en la construcción.

CAPÍTULO II

CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

2.1. Descripción General

Los agregados naturales se forman mediante una trituración o fragmentación de las rocas, generando partículas de tamaños nominales y que puedan ser empleados en la fabricación del hormigón.

Los agregados forman parte en un gran porcentaje en la elaboración del hormigón, por lo que contribuyen a las diferentes características como resistencia y durabilidad del hormigón.

2.2. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS

A continuación, se describen los ensayos correspondientes a los agregados: grueso y fino, y siguiendo los procesos descritos en las normas.

Cada uno de los siguientes ensayos son realizados en el laboratorio de ensayo de materiales de la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE.

2.2.1. Muestreo. NTE INEN 695.

Las muestras de los áridos para el proyecto se obtuvieron de una de las canteras ubicadas en el sector del Chasqui-Latacunga. El muestreo de los agregados grueso y fino se realizaron utilizando el siguiente procedimiento.



Figura 1. Cantera sector El Chasqui

El muestro se realizó de las pilas de material pétreo que genera la banda transportadora, para esto se tomaron 10 porciones de cada uno de los agregados y almacenándolos en diferentes sacos. Las muestras fueron tomadas del tercio superior, punto medio y en el tercio inferior, tal como indica la norma INEN 695.



Figura 2. Banda Transportadora

Al tomar las porciones de material de los diferentes puntos de la pila se genera una mezcla uniforme, lo cual da mayor seguridad al momento de realizar los ensayos de laboratorio y así obteniendo los resultados correctos.

2.2.2. Granulometría de áridos. NTE INEN 696.

El método de ensayo granulométrico de acuerdo con la norma NTE INEN 696, consiste en separar las partículas que componen una muestra seca y de masa conocida mediante el uso de tamices los cuales deben estar ordenados de mayor a menor de acuerdo con su tamaño de abertura. (NTE INEN 696, 2011, pág. 1)

2.2.2.1. Equipo

Para este ensayo se necesitó una balanza, para agregado fino precisión de 0.1 g y para agregado grueso precisión 0.5g, tamices con diferentes aberturas (Agregado fino: Tamices N° 3/8, 4, 8, 16, 30, 50, 100) y (Agregado grueso: Tamices N° 3", 2", 1 ½", 1", 3/4", 1/2", 3/8", 4, 8), una tamizadora mecánica y el horno. (NTE INEN 696, 2011)



Figura 3. Equipo para ensayo granulométrico.

2.2.2.2. Materiales

La masa de la muestra para agregado fino debe ser como mínimo de 300g., y debe estar seca.



Figura 4. Muestra de árido fino NTE INEN 696.

El tamaño de la muestra para agregado grueso debe cumplir las especificaciones de la siguiente tabla.

Tabla 1.

Tamaño de la muestra para ensayo del árido grueso.

Tamaño nominal máximo, Aberturas cuadradas, en (mm).	Tamaño de la muestra del ensayo Mínimo (kg)
9,5	1
12,5	2
19	5
25	10
37,5	15
50	20
63	35
75	60
90	100
100	150
125	300

Fuente: (NTE INEN 696, 2011, pág. 3)

El tamaño máximo nominal del agregado grueso para este proyecto es de 3/8", y por lo tanto la masa mínima de la muestra para ensayar es de 1 kg.



Figura 5. Muestra de árido grueso NTE INEN 696.

2.2.2.3. Procedimiento

- La muestra de cada uno de los áridos debe secarse a una temperatura constante de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Elegir los tamices apropiados para cada muestra y ordenarlos en forma decreciente de acuerdo con cada una de sus aberturas.
- Colocar la muestra en el tamiz superior y proceder a tamizar.
- Determinar la cantidad de material retenido en cada tamiz. Al sumar y verificar la masa total tamizada debe ser similar a la inicial, en caso de que las cantidades difieran en más del 0,3%, los resultados no deben ser utilizados. (NTE INEN 696, 2011)

2.2.2.4. Resultados

Tabla 2.

Ensayo granulométrico del agregado fino.

MUESTRA INICIAL AGREGADO FINO = 352g.				
TAMICES	PESO RETENIDO (g)	RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO PASA TOTAL
3/8" (9.5mm)	0	0	0	100
No. 4 (4,76 mm)	69,97	69,97	20	80
No. 8 (2,36 mm)	52,18	122,15	35	65
No. 16(1,18 mm)	34,38	156,53	45	55
No. 30(0,6 mm)	67,72	224,25	64	36
No. 50(0,30mm)	101,89	326,14	93	7
No. 100(0,15 mm)	15,95	342,09	97	3
Pasante No 100	9,13	351,22	100	

MÓDULO DE FINURA 3,5

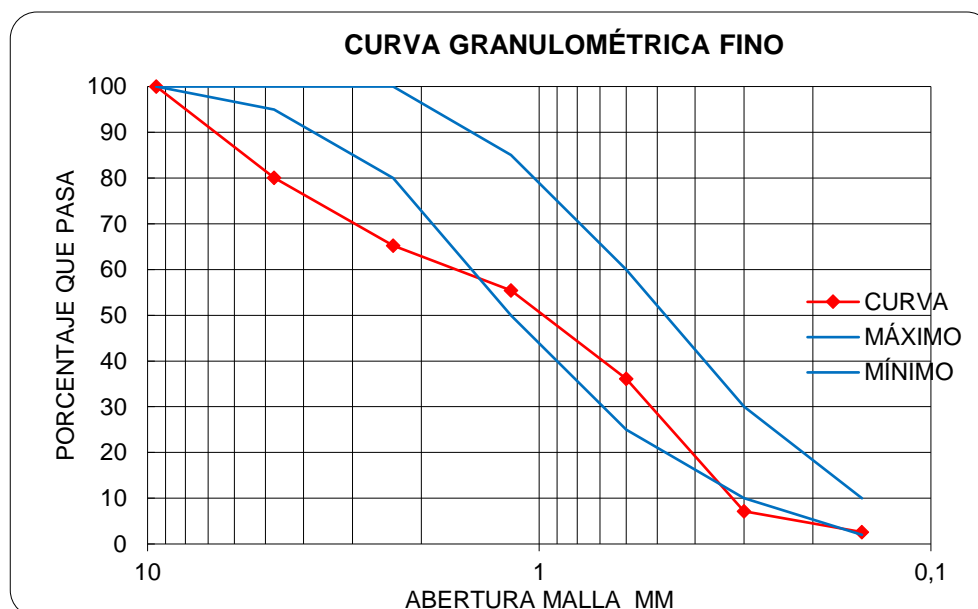


Figura 6. Curva granulométrica del agregado fino.

Tabla 3.
Ensayo granulométrico del agregado grueso.

MUESTRA INICIAL AGREGADO GRUESO = 1000,1 g.				
TAMICES	PESO RETENIDO (g)	RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO PASA
1" (25,4mm)	0,00	0,00	0	100
3/4 " (19,0 mm)	0,00	0,00	0	100
1/2" (12,5mm)	0,00	0,00	0	100
3/8 " (9,51 mm)	5,84	5,84	1	99
No. 4 (4,76 mm)	905,12	910,96	91	9
No. 8 (2.36 mm)	49,18	960,14	96	4
Pasante No. 8	38,01	998,15		

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL = 3/8"

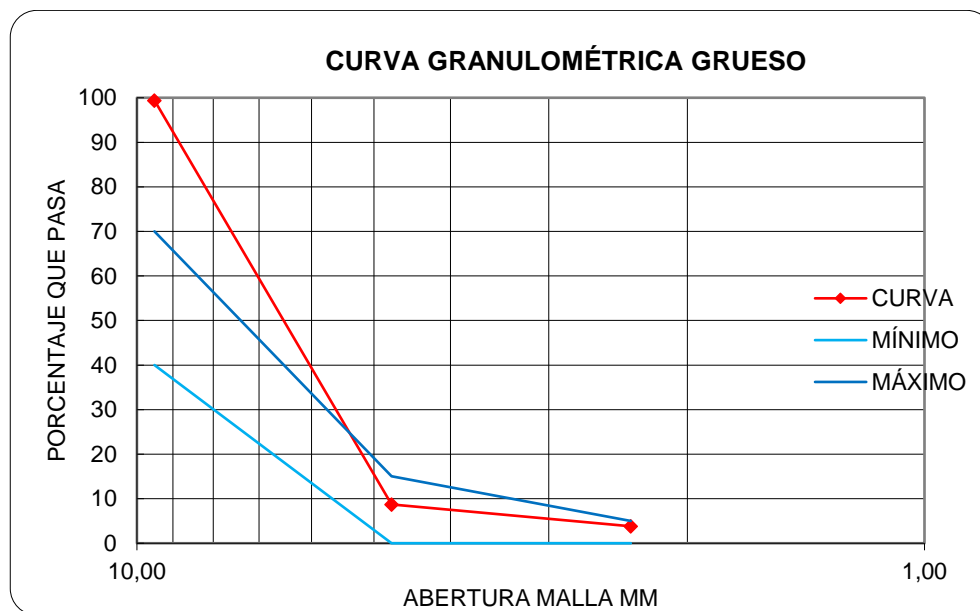


Figura 7. Curva granulométrica del agregado grueso.

Al observar los resultados obtenidos de la granulometría (ver, Figura 6), se toma la decisión de realizar una corrección al agregado fino debido a que la curva no está

ingresando en los límites recomendados, para esto se proceda a realizar una estabilización granulométrica.

Además, la granulometría del agregado grueso no necesita ser corregida porque la mayor parte de la masa fue retenida en el tamiz N° 4 (ver, **Tabla 3**), y así cumpliendo el tamaño requerido para nuestro proyecto.

La corrección de la granulometría del agregado fino se la consigue retirando el material retenido en el tamiz N° 4. Con una muestra de 301g. se proceda a realizar la nueva granulometría del árido fino y así obteniendo resultados aceptables, en el cual se puede ver satisfactoriamente la reducción del módulo de finura, y el ingreso de la curva granulométrica en los niveles recomendados (ver, **Figura 8**)

Tabla 4.
Corrección Granulometría Agregado Fino.

MUESTRA INICIAL AGREGADO FINO = 301 g.				
TAMICES	PESO RETENIDO (g)	RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO PASA TOTAL
No. 4 (4,76 mm)	0	0	0	100
No. 8 (2,36 mm)	54,82	54,82	18	82
No. 16(1,18 mm)	37,79	92,61	31	69
No. 30(0,6 mm)	69,24	161,85	54	46
No. 50(0,30mm)	111,93	273,78	91	9
No. 100(0,15 mm)	15,91	289,69	96	4
Pasante No 100	11,23	300,92	100	
MÓDULO DE FINURA 2,9				

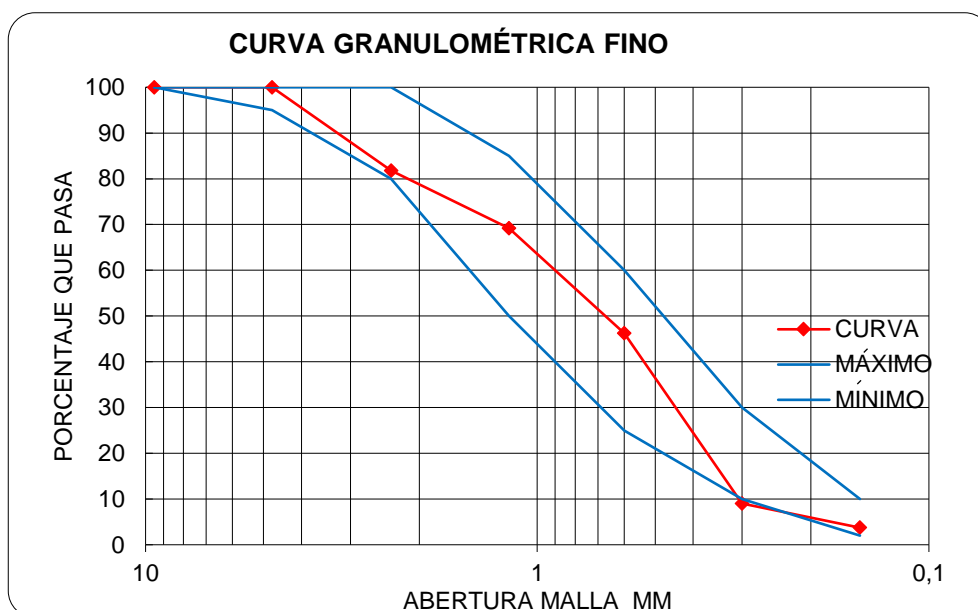


Figura 8. Corrección de la curva granulométrica del agregado fino.

2.2.3. Resistencia a abrasión del árido grueso. NTE INEN 860.

El método de ensayo para determinar la resistencia a la abrasión del agregado grueso de acuerdo con la norma NTE INEN 860, consiste en utilizar la máquina de los ángeles la cual consta de una molienda de tambor giratorio en el que se deposita un número determinado de esferas de acero. Al girar la máquina provoca un impacto al agregado, después se tamiza y se obtiene el valor de la degradación como porcentaje de pérdida (NTE INEN 860, 2011, pág. 1).

2.2.3.1. Equipo

En ese ensayo el equipo que indica la norma es: Máquina de los Ángeles con paredes de acero de espesor no menos a 12,4 mm, tamices, horno a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, balanza con una precisión de 0,1 % de la masa de las esferas de ensayo y una carga formada por esferas de acero con diámetro de 47mm y cada una masa

entre 390g y 445g, la cantidad de esferas se colocará de acuerdo con la **Tabla 5**.

(NTE INEN 860, 2011)

Tabla 5.
Especificaciones para la carga.

Gradación	Número de esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Fuente: (NTE INEN 860, 2011, pág. 3)

2.2.3.2. Materiales

Muestra de agregado grueso. El tamaño de la muestra es de 5000g según la norma NTE INEN 860 y la gradación del agregado es de acuerdo con la siguiente **Tabla 6**.

Tabla 6.
Gradación de las muestras de ensayo.

Tamaño de las aberturas de tamiz (mm) (aberturas cuadradas)		Masa por tamaños indicada (g)			
Pasante de	Retenido en	Gradación			
		A	B	C	D
37,5	25	1250 ± 25	---	---	---
25	19	1250 ± 25	---	---	---
19	12,5	1250 ± 10	2500 ± 10	---	---
12,5	9,5	1250 ± 10	2500 ± 10	---	---
9,5	6,3	---	---	2500 ± 10	---
6,3	4,75	---	---	2500 ± 10	---
4,75	2,36	---	---	---	5000 ± 10
TOTAL		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Fuente: (NTE INEN 860, 2011, pág. 4)

2.2.3.3. Procedimiento

Según la Norma NTE INEN 860 se debe realizar el ensayo siguiendo los siguientes pasos:

- Lavar la muestra y secarla al horno a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ para obtener una masa constante.
- Separar la muestra y realizar la gradación de acuerdo con el tamaño del agregado grueso.
- Colocar la muestra en la máquina de los ángeles y hacer girar a 500 revoluciones a 30 revoluciones por minuto.
- Sacar el árido de la máquina y tamizar para obtener el valor de la degradación por la pérdida de masa.

2.2.3.4. Resultados

La gradación para este ensayo de acuerdo con el tamaño del agregado grueso es el tipo C.

Tabla 7.
Gradación del agregado grueso

Gradación del agregado grueso			
VARIABLES	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALORES
B	Masa del material no desgastado	gr	5001,52
C	Masa del material retenido en el tamiz #12 después del ensayo	gr	2912,17
B-C	Perdida por desgaste	gr	2089,35
D=(B-C)/B*100	Valor de la degradación en porcentaje	%	41,76 %

2.2.4. Determinación de la densidad específica y absorción del árido fino. NTE INEN 856.

Este ensayo permite determinar la densidad relativa del árido fino que es la característica utilizada para el cálculo del volumen ocupado por el árido en las mezclas, además esta norma indica cómo encontrar la absorción del agregado, la absorción sirve para verificar los cambios de la masa de un agregado debido a la incorporación de agua en los poros de las partículas. (NTE INEN 856, 2010, pág. 2)

2.2.4.1. Equipo

El equipo a utilizar para este ensayo es una balanza precisión de 0.1g, picnómetro con capacidad de 500 cm³, horno a 110 °C ± 5°Cy un agitador mecánico para eliminar aire. (NTE INEN 856, 2010)

2.2.4.2. Materiales

Dos muestras de 500g. de árido fino saturado superficialmente seco.



Figura 9. Muestra de árido fino.

2.2.4.3. Procedimiento

Los pasos que se siguieron para realizar este ensayo son los que indica la norma NTE INEN 856 (2010):

- Sumergir la muestra de árido fino en agua por $24h \pm 4h$, con el fin de llenar todos los poros con agua.
- Retirar el agua en exceso de la muestra, y colocar sobre una superficie plana no absorbente, remover la muestra hasta que se encuentre en una condición saturada superficialmente seca.
- Llenar el picnómetro con agua, pesar y vaciar su contenido.
- Colocar en el picnómetro, con ayuda de un embudo una muestra de 500g. de árido fino saturado superficialmente seco.
- Llenar con agua el picnómetro por encima del nivel de la muestra.
- Mediante el uso de una máquina de agitación que no degrade la muestra proceder a eliminar las burbujas de aire.
- Después de eliminar todas las burbujas de aire, añadir agua hasta la marca de calibración, y finalmente, proceder a pesar el picnómetro con muestra y agua.
- Para establecer el porcentaje de absorción se debe determinar la masa seca de una muestra de 500g de árido fino saturado superficialmente seco.



Figura 10. Adición de muestra (a), y eliminación de aire del picnómetro(b).

2.2.4.4. Resultados

Tabla 8.

Determinación de pesos específicos y absorción de agua del agregado fino.

A	PESO DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	(g)	500
C	PESO DE LA MUESTRA SECA	(g)	480
D	PESO DEL FRASCO LLENO DE AGUA	(g)	645,3
E	PESO DEL FRASCO LLENO CON LA MUESTRA SATURADA	(g/cm ³)	927,47
γ	PESO ESPECÍFICO DEL AGUA A LA TEMPERATURA QUE SE REALIZÓ EL ENSAYO		0,997866
$(C/C+D-E)*\gamma$	PESO ESPECÍFICO DEL MATERIAL IMPERMEABLE DE LAS PARTÍCULAS	(g/cm ³)	2,421
$(A/A+D-E)*\gamma$	PESO ESPECÍFICO DE LAS PARTÍCULAS SATURADAS CON SUPERFICIE SECA	(g/cm ³)	2,290
$(C/A+D-E)*\gamma$	PESO ESPECÍFICO DE LAS PARTÍCULAS SECAS	(g/cm ³)	2,199
$(A-C/C)*100$	ABSORCIÓN DE AGUA	(%)	4,2
OBSERVACIONES	Temperatura ensayo = 21,7°C.		

2.2.5. Determinación de la densidad específica y absorción del árido fino. NTE INEN 857.

Esta norma indica el procedimiento para obtener características importantes como la densidad y el porcentaje de absorción de agua del agregado grueso.

2.2.5.1. Equipo

El equipo para este ensayo es una balanza con aproximación de 0.05% de la masa de muestra, una canasta de alambre con abertura de 3.35mm o malla más fina, un tanque de agua, tamiz N° 4 y un horno capaz de una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. (NTE INEN 857, 2010)

2.2.5.2. Materiales

Muestra de agregado grueso retenido en el tamiz N° 4. La muestra inicialmente debe ser saturada y después secada superficialmente. La cantidad necesaria para este ensayo depende del tamaño nominal del árido. (ver. **Tabla 9**).



Figura 11. Muestra saturada en agua.



Figura 12. Muestra superficialmente seca.

Tabla 9.

Masa mínima de la muestra para el ensayo.

Tamaño máximo nominal	Masa mínima de la muestra para el ensayo
12,5 o menor	2
19	3
25	4
37,5	5
50	8
63	12
75	18
90	25
100	40
125	75

Fuente: (NTE INEN 857, 2010)

2.2.5.3. Procedimiento

La norma NTE INEN 857, indica los siguientes pasos para encontrar las características del árido grueso como densidad y el porcentaje de absorción:

- Colocar la muestra de árido grueso en agua durante un tiempo de $24h \pm 4h$. (ver.

Figura 11).

- Después retirar la muestra del agua y poner sobre un paño absorbente para descartar toda lámina visible de agua y dejar la muestra en un estado superficialmente seca en aire, pesar la masa necesaria para el ensayo con una aproximación de 0.5g o 0.05% de la muestra.



Figura 13. Muestra sobre paño absorbente.

- Inmediatamente colocar la muestra del ensayo en la canasta de alambre y sumergirla en agua, agitar el recipiente para que se elimine todo el aire atrapado y determinar el valor de la masa aparente saturada en agua.



Figura 14. Masa aparente saturada en agua.

- Sacar la muestra y poner en el horno a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta conseguir una masa constante seca.

2.2.5.4. Resultados

Tabla 10.

Determinación de pesos específicos y absorción de agua del agregado grueso.

A	MASA DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA EN AIRE	(g)	2091,0
B	MASA APARENTE SATURADA EN AGUA	(g)	1284,5
C	MASA DE LA MUESTRA SECA AL HORNO	(g)	2012,0
G	DENSIDAD DEL AGUA A LA TEMPERATURA QUE SE REALIZÓ EL ENSAYO	(g/cm ³)	0,99829
(C/C-B)*g	DENSIDAD RELATIVA APARENTE (GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE)	(g/cm ³)	2,761
(A/A-B)*g	DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECIFICA) (SSS)	(g/cm ³)	2,588
(C/A-B)*g	DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECIFICA)	(g/cm ³)	2,490
(A-C/C)*100	ABSORCIÓN DE AGUA	(%)	3,9
OBSERVACIONES	Temperatura ensayo =19,6 °c		

2.2.6. Determinación de la densidad suelta y compactada del agregado fino y grueso. NTE INEN 858.

De acuerdo con la norma NTE INEN 858, este ensayo solo se lo puede realizar a los áridos que no sobrepasen un tamaño nominal de 125mm., además permite determinar la masa unitaria (peso volumétrico) que es necesario para encontrar la relación masa/volumen y poder utilizar en las dosificaciones para mezclas de hormigón. (pág. 1)

2.2.6.1. Equipo

Balanza con precisión de graduaciones mínimo de 0.05 kg, horno capaz de una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, varilla de acero lisa para compactar de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud. Molde de metal cilíndrico con altura y diámetro aproximadamente iguales y con capacidad de acuerdo con el tamaño nominal del árido (ver. **Tabla 11**), una pala o cucharón, regleta para enrasar y equipo de calibración. (NTE INEN 858, 2010)



Figura 15. Equipo. Norma NTE INEN 858.

Tabla 11.
Capacidad de los moldes.

Tamaño máximo nominal (mm)	Capacidad nominal del molde m ³ [litros]
12,5	0,0028 [2,8]
25	0,0093 [9,3]
37,5	0,014 [14]
75	0,028 [28]
100	0,070 [70]
125	0,100 [100]

Fuente: (NTE INEN 858, 2010).

2.2.6.2. Materiales

Muestra de árido fino y grueso. La cantidad para cada uno de los agregados debe ser aproximadamente un 200% respecto a la que se necesita para llenar el molde, se debe evitar a segregación de cada uno de los materiales. La muestra se debe encontrar completamente seca a masa constante para esto se recomienda utilizar un horno a temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (NTE INEN 858, 2010, pág. 4).



Figura 16. Muestra de árido fino NTE INEN 858.



Figura 17. Muestra de árido grueso NTE INEN 858.

2.2.6.3. Procedimiento

Según la norma NTE INEN 858 (2010) el procedimiento que se aplica al árido grueso y fino es el siguiente:

Pasos para determinar la densidad suelta:

- Colocar el árido con el cucharón en el molde, esto se debe hacer desde una altura no mayor a 50mm desde el borde del molde.
- La muestra después que se encuentra rebosando en el molde, se debe nivelar
- Finalmente, se pesa el molde con la muestra sin compactar.

Pasos para determinar la densidad compactada:

- Con ayuda del cucharón se llena la tercera parte del molde, se nivela con los dedos la parte superior y con la varilla lisa se compacta un número total de 25 golpes sin topar fuertemente la parte inferior del molde. (NTE INEN 858, 2010)
- Para el segundo y tercer tercio restantes del molde, llenar de igual manera como el paso anterior descrito, compactar evitando que la varilla penetre cada capa anterior. (NTE INEN 858, 2010)
- Después de realizar el procedimiento para el tercer tercio, con ayuda de la regleta se enrasa al nivel del borde del molde. (NTE INEN 858, 2010)
- Finalmente se pesa el molde con la muestra compactada.

2.2.6.4. Resultados

A continuación, se presenta los resultados de la densidad suelta y compactada para cada agregado.

AGREGADO FINO.

Tabla 12.

Densidad suelta Agregado Fino.

DENSIDAD SUELTA DE ARENA		
Molde No.	2	2
Peso del molde (g)	2663	2663
Peso molde +suelo (g)	6366	6364
Peso suelo (g)	3703	3701
Volumen (cm3)	2758	2758
Densidad suelta (g/cm3)	1,343	1,342
Media (g/cm3)	1,342	

Tabla 13.

Densidad compactada Agregado Fino.

DENSIDAD VARILLADA DE ARENA		
Molde No.	2	2
Peso del molde (g)	2663	2663
Peso molde +suelo (g)	6934	6951,0
Peso suelo (g)	4271	4288
Volumen (cm3)	2758	2758
Densidad suelta (g/cm3)	1,548	1,555
Media (g/cm3)	1,552	

AGREGADO GRUESO.

Tabla 14.

Densidad suelta Agregado Grueso.

DENSIDAD SUELTA DE GRAVA		
Molde No.	2	2
Peso del molde (g)	2663	2663
Peso molde +suelo (g)	5899	5868
Peso suelo (g)	3236	3205
Volumen (cm3)	2758	2758
Densidad suelta (g/cm3)	1,173	1,162
Media	1,168	

Tabla 15.
Densidad compactada Agregado Grueso.

DENSIDAD VARILLADA DE GRAVA		
Molde No.	2	2
Peso del molde (g)	2663	2663
Peso molde +suelo (g)	6342	6339
Peso suelo (g)	3679	3676
Volumen (cm3)	2758	2758
Densidad suelta (g/cm3)	1,334	1,333
Media	1,333	

2.2.7. Determinación de humedad en áridos para hormigón NTE INEN 862

De acuerdo con a norma NTE INEN 862 (2011) “el método de ensayo para determinar el porcentaje de humedad evaporable por secado en una muestra de áridos, tanto el correspondiente a la humedad superficial, como la humedad contenida en los poros del árido” (pág. 1).

2.2.7.1. Equipo

Balanza con sensibilidad de 0.1% de la carga de ensayo, un horno capaz de resistir una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, taras de metal y una espátula o pala. (NTE INEN 862, 2011)

2.2.7.2. Materiales

Muestra de árido fino y grueso.

2.2.7.3. Procedimiento

- Colocar en recipientes o taras la muestra y determinar el peso del árido húmedo más la tara
- Proceder a poner dentro del horno las taras con la muestra y esperar a que este completamente seco el agregado fino y grueso.
- Después tomar el peso de la muestra seca más el recipiente



Figura 18. Masa seca de áridos NTE INEN 862.

- Finalmente, calcular con la siguiente fórmula el porcentaje de humedad de cada agregado.

$$\% \text{ Humedad} = \frac{W - D}{D} \times 100\%$$

Donde:

W: masa de la muestra húmeda

D: masa de la muestra seca

2.2.7.4. Resultados

Tabla 16.
Porcentaje de Humedad de los áridos.

MUESTRA	FINO		GRUESOS	
	507-11	F11	IB	301
RECIPIENTE	14,26	11,16	12,00	11,47
PESO DEL RECIPIENTE (g)	81,85	55,37	34,72	37,62
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (g)	81,56	55,21	34,66	37,51
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA (g)	0,29	0,16	0,06	0,11
PESO DEL AGUA (g)	67,30	44,05	22,66	26,04
% AGUA	0,43	0,36	0,26	0,42
PROMEDIO %:	0,40		0,34	

Para obtener mejores resultados se tomó dos muestras para cada agregado y se calculó la humedad, obteniendo un promedio y siendo ese valor el porcentaje de humedad de cada árido.

CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN DE LAS FIBRAS DE CAUCHO RECICLADO DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO (NFU).

3.1. Introducción.

En el Ecuador, las políticas nacionales de residuos sólidos fomentan a la investigación y utilización de estos desechos para poder minimizar el impacto ambiental y daños en la salud.

El caucho desde años atrás se ha venido usando en el campo de la construcción, en aplicaciones como elaboración de bloques, adoquines, también en mezclas asfálticas, además es muy importante indicar que estudios realizados en diferentes países indican que las características químicas de las llantas no afectan las propiedades del cemento.

Este proyecto investigativo usará la fibra de caucho reciclado proveniente del reencauchado de los neumáticos, el cual se empleará en la elaboración de paneles no estructurales de hormigón.

3.2. Definición del caucho

Según la investigación de Almeida Salazar (2011) menciona que:

El caucho es un polímero de muchas unidades, encadenadas de un hidrocarburo elástico, el isopreno C_5H_8 que surge como una emulsión lechosa (conocida como látex) en la savia de varias plantas, pero que también puede ser producido sintéticamente. (pág. 9)

Con la evolución y el diferente tipo de tratamiento que se le ha dado al caucho, en la actualidad se utiliza este material para la elaboración de diferentes artículos, por ejemplo: objetos impermeables y neumáticos.

3.3. Reciclaje de Neumáticos en el Ecuador

De acuerdo con el estudio realizado por Rojas Sieveking (2008), menciona que:

Los neumáticos cuentan con gran diversidad de compuestos incluyendo agentes naturales y compuestos. Los constituyentes principales de los neumáticos 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 productos. (pág. 1)

En el Ecuador se comercializan alrededor de 4 millones de neumáticos anualmente y los que se desechan en un porcentaje más alto son los neumáticos usados de los automóviles y de camionetas livianas.

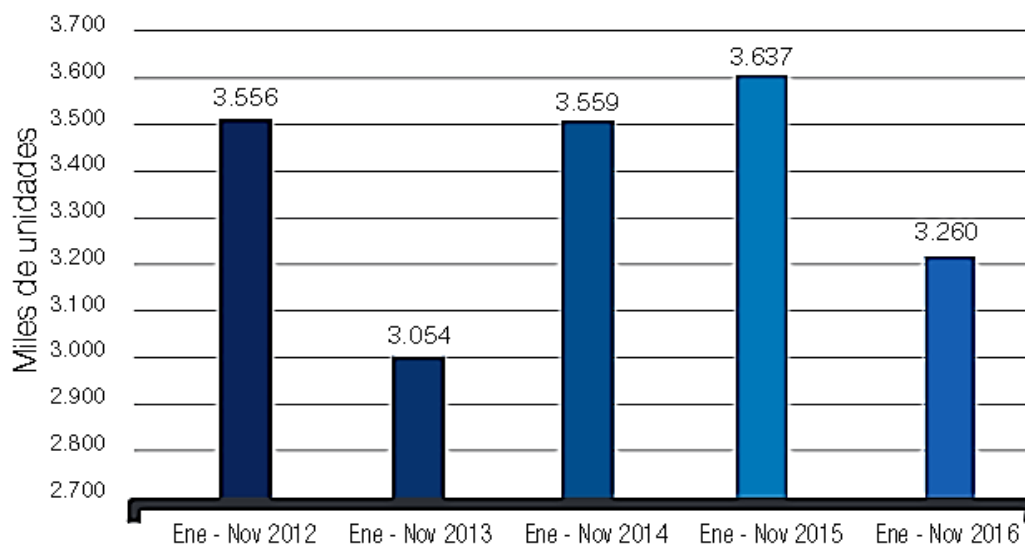


Figura 19. Importaciones de neumáticos 2012 - 2016 (Ene - Nov).

Fuente: (AEADE, 2017, pág. 12)

Los neumáticos después de cumplir su vida útil se convierten en objetos contaminantes, que al ser desechados a los basureros y quebradas son perjudiciales porque se los procede a quemar causando así una contaminación al aire por los gases tóxicos que emanan, y en la mayoría de las ocasiones se los acumula en la intemperie, permitiendo así la proliferación de animales dañinos para el ser humano como roedores e insectos.

Para disminuir la contaminación ocasionada por los neumáticos fuera de uso, el Ecuador mediante acciones tomadas por el Ministerio del Ambiente realiza la recolección de llantas fuera de uso alrededor de todo el país.

Estos neumáticos recolectados son empleados en diversas empresas del país. En algunos casos se tritura y muele el caucho para obtener grano reciclado el cual sirve para canchas sintéticas de fútbol. Otro tipo de uso para los neumáticos reciclados es la elaboración de artesanías, pisos de caucho para gimnasios, muebles, repuestos de auto, asfalto modificado para carreteras.



Figura 20. Reciclaje de neumáticos en el Ecuador.

Fuente: (El Universo, 2016)

3.3.1. Fibra de caucho de neumáticos fuera de uso (NFU)

La fibra de caucho para este proyecto se la consiguió de los neumáticos fuera de uso destinados para el reencauche, la empresa que proporciono el material es Durallanta S.A. ubicada en el sur de la ciudad de Quito.



Figura 21. Planta de reencauchado Durallanta S.A.



Figura 22. Fibra de caucho.

3.3.2. Propiedades de la fibra de caucho reciclado.

Para encontrar las propiedades de la fibra de caucho reciclado de los neumáticos fuera de uso (NFU), se ensayó la fibra como si fuera un agregado, por ese motivo se utilizaron las normas INEN de áridos para encontrar la granulometría, peso específico, densidad suelta y compactada. Estas propiedades posteriormente servirán para poder realizar correctamente la dosificación y análisis del hormigón con inclusión de fibra de caucho en diferentes porcentajes que será utilizado en la elaboración de los paneles no estructurales.

3.3.2.1. Granulometría de la fibra de caucho reciclado

Para el análisis granulométrico se utilizó la norma NTE INEN 696, al observar que la fibra tiene mayor cantidad de material fino se utilizó el equipo y procedimiento para árido fino que se encuentra explicado en el capítulo II.

El tamaño de la muestra es de 125 gramos.



Figura 23. Tamaño muestra fibra de caucho.

3.3.2.1.1. Resultados

Tabla 17.

Granulometría de la fibra de caucho reciclado.

TAMICES	PESO RETENIDO (g)	RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO PASA TOTAL
3/8" (9.5mm)	0	0	0	100
No. 4 (4,76 mm)	0	0	0	100
No. 8 (2,36 mm)	21,22	21,22	17	83
No. 16(1,18 mm)	39,47	60,69	49	51
No. 30(0,6 mm)	27,02	87,71	70	30
No. 50(0,30mm)	29,69	117,4	94	6
No. 100(0,15 mm)	4,39	121,79	97	3
Pasante No 100	3,19	124,98	100	

PESO INICIAL DE LA MUESTRA: 125 (g)

MODULO DE FINURA 3,3

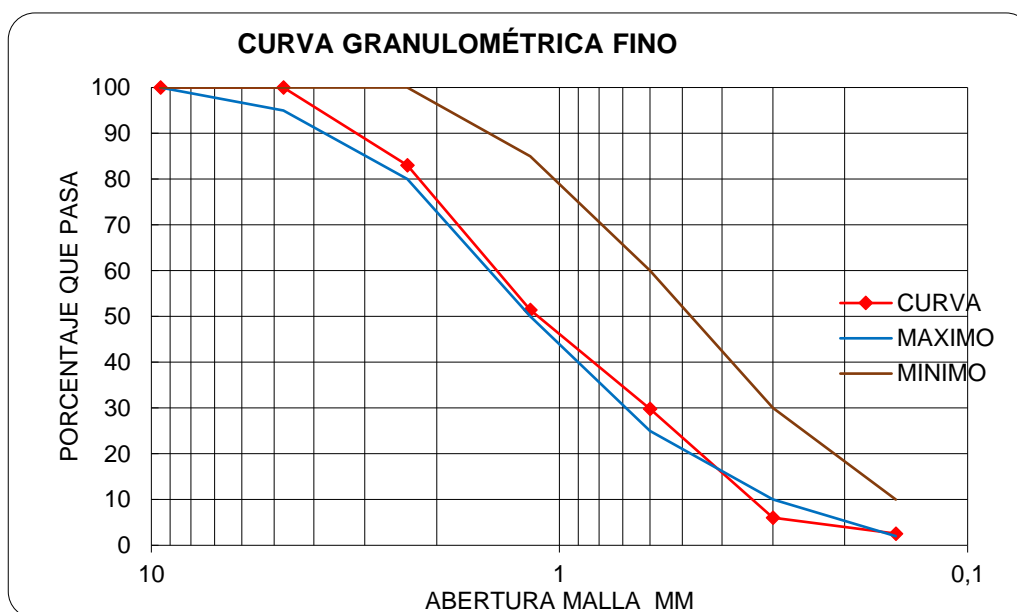


Figura 24. Curva granulométrica de la fibra de caucho.

3.3.2.2. Determinación del peso específico de la fibra de caucho reciclado

Este ensayo se realizó siguiendo la norma NTE INEN 856, en el capítulo II de esta investigación se indica el procedimiento y equipo a utilizar para determinar la densidad relativa de un árido fino.

El tamaño de la muestra es de 52.9 gramos



Figura 25. Muestra ensayo peso específico del caucho.

Para este ensayo se siguió el ensayo gravimétrico que es mediante el uso del picnómetro, es necesario indicar que a la muestra de la fibra de caucho no se sumergió en agua debido a que estas partículas tienen el porcentaje de absorción igual a cero.



Figura 26. Ensayo gravimétrico (Densidad del caucho).

3.3.2.2.1. Resultados.

Tabla 18.

Peso específico de la fibra de caucho.

A	PESO DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	(g)	52,9
C	PESO DE LA MUESTRA SECA	(g)	52,9
D	PESO DEL FRASCO LLENO DE AGUA	(g)	645,3
E	PESO DEL FRASCO LLENO CON LA MUESTRA SATURADA	(g/cm ³)	650,77
γ	PESO ESPECÍFICO DEL AGUA A LA TEMPERATURA QUE SE REALIZÓ EL ENSAYO		0,998
(C/C+D-E)*γ	PESO ESPECÍFICO DEL MATERIAL IMPERMEABLE DE LAS PARTÍCULAS	(g/cm ³)	1,113
(A/A+D-E)*γ	PESO ESPECÍFICO DE LAS PARTÍCULAS SATURADAS CON SUPERFICIE SECA	(g/cm ³)	1,113
(C/A+D-E)*γ	PESO ESPECÍFICO DE LAS PARTÍCULAS SECAS	(g/cm ³)	1,113
(A-C/C)*100	ABSORCIÓN DE AGUA	(%)	0,0

Temperatura ensayo = **21,7°C.**

3.3.2.3. Determinación de la densidad suelta y compacta de la fibra de caucho.

La norma NTE INEN 858 se utilizó para determinar la densidad volumétrica en condición suelta y compactada de la fibra de caucho. La descripción de procedimiento y equipo necesario para este ensayo se detalló en el capítulo II de esta investigación, por está razón solo se mostrarán los resultados.



Figura 27. Ensayo densidad volumétrica del caucho.

3.3.2.3.1. Resultados.

Tabla 19.

Densidad suelta de la fibra de caucho

DENSIDAD SUELTA DE CAUCHO		
Molde No.	2	2
Peso del molde (g)	2627,9	2627,9
Peso molde +suelo (g)	3709,6	3709,2
Peso suelo (g)	1081,7	1081,3
Volumen (cm3)	2758	2758
Densidad suelta (g/cm3)	0,392	0,392
Media (g/cm3)	0,392	

Tabla 20.

Densidad compactada de la fibra de caucho

DENSIDAD VARILLADA DE CAUCHO		
Molde No.	2	2
Peso del molde (g)	2627,9	2627,9
Peso molde +suelo (g)	3990,4	3990,3
Peso suelo (g)	1362,5	1362,4
Volumen (cm3)	2758	2758
Densidad suelta (g/cm3)	0,494	0,494
Media (g/cm3)	0,494	

CAPÍTULO IV

DOSIFICACIÓN Y ELABORACIÓN DE PANELES NO ESTRUCTURALES DE HORMIGÓN

4.1. Definición de Hormigón.

El hormigón es conocido también como concreto, éste es el resultado de combinar cemento, áridos (finos y gruesos) y agua en cantidades adecuadas que permitan obtener resistencias óptimas. (Hormigones Ingeniería de Edificación, 2011)



Figura 28. Hormigón fresco.

En la mezcla de hormigón se puede añadir aditivos como acelerantes, retardantes de fraguado, impermeabilizantes, etc. Además, en la actualidad se están realizando adiciones al hormigón de material inorgánico (caucho, plástico, vidrio, etc.), con el propósito de perfeccionar o dar nuevas características. (Hormigón: Química.es, 2010)



Figura 29. Material inorgánico.

4.2. Componentes del Hormigón

4.2.1. Cemento

El cemento es un conglomerante hidráulico que al ser mezclado con el agua reacciona produciendo una pasta capaz de fraguar y endurecer, esta reacción puede hacerlo incluso encontrándose bajo el agua. (Hormigones Ingeniería de Edificación, 2011, pág. 45)

En la elaboración del hormigón destaca el cemento portland, se compone principalmente de calcio, yeso y aluminato tricálcico, y para su fabricación debe cumplir normativas de acuerdo con el uso que va a ser destinado.



Figura 30. Cemento Portland.

Fuente: (Disensa, s.f.)

4.2.2. Agregados

Según Romo Proaño (2008) menciona que:

Los agregados forman las tres cuartas partes del volumen total del hormigón. Los agregados naturales se clasifican en finos y gruesos. Los agregados finos pasan por el tamiz # 4. Los agregados gruesos no atraviesan el tamiz # 4 y se conocen como gravas. (pág. 6)

“Los agregados artificiales son subproductos de procesos industriales, tales como escorias o también pueden ser materiales reciclados”. (Oficial, 2018)

4.2.3. Agua

El agua que se añade a la mezcla de hormigón debe ser limpia, en lo posible potable. No debe contener impurezas que pueda afectar la calidad del hormigón. (Hormigón: Química.es, 2010).

El agua en el hormigón tiene las funciones de hidratar los componentes del cemento y actuar como lubricante permitiendo que sea trabajable. Además, es muy importante mencionar que la cantidad de agua se debe controlar para no generar espacios o vacíos en el hormigón. (Hormigones Ingeniería de Edificación, 2011)

4.3. Dosificación del hormigón

Para realizar la dosificación y así obtener las cantidades correctas de cada componente del hormigón, que permita cumplir las características necesarias de esta investigación como resistencia, trabajabilidad, dureza, se utilizó las recomendaciones del Método del ACI 211.1

La dosificación de análisis planteada en este proyecto es de una resistencia de 180 kg/cm² para un hormigón normal.

1. Elegir el Asentamiento

El revenimiento se debe escoger de acuerdo en el tipo de construcción en el cual va a ser empleado el hormigón.

Tabla 21.

Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción.

Tipo de construcción	Revenimiento (cm)	
	Máximo	Mínimo
Muros de subestructura sencillos, zapatas, muros y cajones de cimentación	7,5	2,5
Vigas y muros reforzados	10	2,5
Columnas para edificios	10	2,5
Pavimentos y losas	7,5	2,5
Concreto masivo	7,5	2,5

Fuente: (ACI 211.1 - Diseño de mezclas de concreto, 2016)

El proyecto consiste en realizar paneles no estructurales por lo que se escogió un revenimiento igual a 7 cm.

2. Calculo del agua mezclado y contenido de aire

El valor de agua de mezclado depende del tamaño máximo del agregado grueso y del revenimiento.

Tabla 22.

Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire

Revenimiento (cm)	Tamaño máximo de la grava (mm)							
	9,5	12,5	19	25	38	50	75	150
Concreto sin aire incluido								
2,5 a 5	207	199	190	179	166	155	130	113
7,5 a 10	228	216	205	193	181	169	145	124
15 a 17,5	243	228	216	202	190	178	160	---
Aire atrapado (%)	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Concreto con aire incluido								
2,5 a 5	181	175	168	160	150	142	122	107
7,5 a 10	202	193	184	175	165	157	133	119
15 a 17,5	216	205	197	174	174	166	154	---

Fuente: (ACI 211.1 - Diseño de mezclas de concreto, 2016)

Para el tamaño nominal de 9.5mm y el revenimiento de 7cm, en la tabla nos indica un valor de 228 la cantidad de agua por cada m³ para el concreto sin aire incluido.

3. Selección de la relación Agua / Cemento

La importancia que constituye la relación agua / cemento en el hormigón tiene influencia sobre la resistencia, durabilidad y retracción del hormigón, es por esto, que el valor de la relación aumenta cuando la cantidad de agua crece y disminuye cuando el contenido de cemento aumenta. (Instituto del Cemento Portland Argentino: ICPA, 2012)

Para obtener esta relación se necesita la resistencia media, para este proyecto al contar con menos de 15 registros no es posible hallar la desviación estándar por lo que se debe utilizar la siguiente tabla.

Tabla 23.

Resistencia promedio a la compresión cuando no hay datos para establecer una desviación estándar de la muestra.

Resistencia especificada MPa	Resistencia requerida MPa
$f'c < 21$	$f'cr = f'c + 7,0$
$21 \leq f'c \leq 35$	$f'cr = f'c + 8,3$
$f'c > 35$	$f'cr = 1,1f'c + 5,0$

Fuente: (Inecyc - ACI 211.1 - Tabla 5.3.2.2, 2009, pág. 3)

La resistencia a la compresión en este proyecto es de 180 kg/cm^2 , por lo tanto, la resistencia promedio según la tabla del ACI 211.1 es $f'cr = f'c + 7,0$.

$$f'cr = 180 + 70 = 250 \text{ kg/cm}^2$$

Con el valor de $f'cr$, se procede a encontrar en la siguiente tabla el valor de la relación agua/cemento.

Tabla 24.

Correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión

Resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm ²)	Relación agua/cemento (por peso)	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420	0,41	-----
350	0,48	0,4
280	0,57	0,48
210	0,68	0,59
140	0,82	0,74

Fuente: (ACI 211.1 - Diseño de mezclas de concreto, 2016)

La relación Agua/Cemento es de 0,61; este valor se lo obtuvo realizando una interpolación con los valores para concreto sin aire incluido.

4. Cálculo del Contenido de Cemento

Para el cálculo de cemento por cada m³ de hormigón se utilizará el valor de la relación agua/cemento y la cantidad de agua para cada m³ de hormigón.

$$A = 228$$

$$\frac{A}{C} = 0,62$$

$$C = \frac{228}{0,62} = 369 \text{ kg/m}^3$$

Para esta dosificación la cantidad de cemento es 369 kg para cada m³.

5. Estimación del contenido de agregado grueso.

El contenido de agregado grueso depende del módulo de finura del agregado fino, según la granulometría que fue corregida en el capítulo II, el valor del módulo de finura es 2,9.

Tabla 25.

Volumen de agregado grueso(m³) por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura del agregado fino.

Tamaño máximo del agregado grueso (mm)	Módulo de finura del agregado fino			
	2,40	2,60	2,80	3,00
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

Fuente: (ACI 211.1 - Diseño de mezclas de concreto, 2016).

El volumen de agregado grueso para un m³ de concreto es de 0,45. Este volumen se convierte a peso seco del agregado grueso requerido en 1 m³ de concreto, multiplicándolo por el peso volumétrico varillado en seco (PUC) por m³ de agregado grueso.

Con todos los parámetros anteriormente calculados se procede a realizar la dosificación obteniendo como resultado las siguientes cantidades:

Tabla 26.

Dosificación del hormigón para una resistencia igual 180kg/cm²

RESULTADOS									
DOSIFICACIÓN EN PESO									
	VOL SSS		PESO SSS		PESO SECO		PESO ESTADO NAT.		
AGUA	60,2	gal.	60,2	gal.	87,6	gal.	86,5	gal.	
CEMENTO	7,4	Sacos	369,4	kg.	369,4	kg.	369,4	kg.	
ARENA	0,5	m ³	1109,4	kg.	1029,5	kg.	1032,6	kg.	
RIPIO	0,2	m ³	623,5	kg.	600,0	kg.	600,9	kg.	

VOL SSS= Dosificación en Volumen Saturado en superficie seca.

PESO SSS= Dosificación en Peso Saturado en superficie seca.

Los valores que se utilizó para elaborar los especímenes de hormigón y realizar el análisis del hormigón con inclusión de fibra de caucho, son los valores de la dosificación en peso en estado natural para 1 m³ de hormigón: Agua 86,5 gal; Cemento 369,4 kg; Arena 1032,6 kg; Ripio 600,9 kg.

4.4. Elaboración de especímenes de hormigón.

Para elaborar los especímenes de hormigón con y sin adición de fibra de caucho se utilizó la norma NTE INEN 1 576. Con la dosificación calculada se procede a elaborar hormigón en el laboratorio de ensayo de materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas -ESPE.

Para fabricar la muestra de hormigón se utilizó una concretera, y el siguiente procedimiento: primero se colocó un 25% de la cantidad de agua, después 50% la grava, cemento y arena, se espera que se mezcle durante un minuto y después se coloca el resto de agua, agregado grueso, cemento y agregado fino, y dejamos que siga girando la concretera, finalmente al observar que la mezcla es uniforme se detiene la concretera.



Figura 31. Concretera y muestra de hormigón.

Los equipos para la fabricación de los especímenes de hormigón con o sin fibra de caucho son:

- Moldes para cilindros: Para aceptación del ensayo a la resistencia a la compresión las dimensiones de los cilindros deben ser de 150 mm x 300 mm o de 100mm x 200 mm. (NTE INEN 1 576, 2011, pág. 3)
- Varilla de compactación: La longitud debe ser 100mm mayor que la profundidad del cilindro y su diámetro debe cumplir de acuerdo con la siguiente tabla. (NTE INEN 1 576, 2011)

Tabla 27.

Requisitos para el diámetro de la varilla de compactación

Diámetro del cilindro (mm)	Diámetro de la varilla (mm)
< 150	10 ± 2
≥ 150	16 ± 2

Fuente: (NTE INEN 1 576, 2011, pág. 2)

- Mazo con cabeza de caucho: Debe tener una masa de 0,6 kg ± 0,2 kg
- Cucharón o pala pequeña.
- Regleta para enrasar los cilindros.



Figura 32. Equipo para elaborar especímenes. NTE INEN 1 576.

El procedimiento en la elaboración de los cilindros de hormigón de acuerdo con la norma NTE INEN 1 576 (2011), es el siguiente:

- Ajustar las llaves o bisagras de los cilindros para que no exista fugas o derrame de hormigón al momento de fundir, además cubrir con una brocha o franela una pequeña capa de algún aditivo que permita desencofrar los especímenes fácilmente. (NTE INEN 1 576, 2011)
- Colocar el hormigón en el molde, en la cantidad de capas requeridas y compactar cada capa de acuerdo con las dimensiones del molde utilizado (ver **Tabla 28**). Para compactar se debe sobrepasar la varilla de compactación 25mm a la capa inferior. (NTE INEN 1 576, 2011)

Tabla 28.

Requisitos para el moldeo mediante varillado en cilindros

Diámetro del cilindro (mm)	Número de capas de aproximadamente igual altura	Número de golpes con la varilla por capa
100	2	25
150	3	25
225	4	50

Fuente: (NTE INEN 1 576, 2011, pág. 5)

- En cada capa después de compactar se debe golpear en el exterior del molde de 10 a 15 veces con el mazo.
- Finalmente, se debe retirar el material que sobrepase el borde superior del molde y proceder a nivelar con la regleta generando una superficie plana, además se debe marcar con una identificación a cada espécimen.



Figura 33. Elaboración de especímenes.

4.4.1. Hormigón sin fibra de caucho.

La elaboración de especímenes de hormigón sin fibra de caucho se dio con el procedimiento mencionado en el literal 4.4. Para encontrar la cantidad necesaria de cada material para fundir un cilindro se calculó el volumen y se multiplicó con la dosificación calculada en el literal 4.3.

Tabla 29.

Volumen de hormigón para 1 cilindro.

Volumen de hormigón para 1 cilindro		
Diámetro	0,15	m
Altura	0,30	m
Área	0,02	m ²
Volumen	0,005	m ³
Volumen Desperdicio 10%	0,0058	m³

Con los valores de la **Tabla 29** y la dosificación del hormigón para una resistencia de 180 kg/cm², calculamos la cantidad necesaria de material para la elaboración de los especímenes de hormigón sin fibra de caucho.

Según la norma NTE INEN 1855-2 (2015), “para cada ensayo deben elaborarse por lo menos dos especímenes” (pág. 13). Por lo tanto, las pruebas de laboratorio se realizaron para dos especímenes, el volumen para dos cilindros es el que se indica a continuación.

$$\text{Volumen 2 cilindros} = 0,0058 \times 2$$

$$\text{Volumen 2 cilindros} = \mathbf{0,0117 \text{ m}^3}$$

Tabla 30.

Cantidad de material para elaborar 2 cilindros de hormigón.

DOSIFICACIÓN PARA PRUEBAS DE LABORATORIO 2 CILINDROS			
AGUA	86,5 gal/m ³ x 3,785 lt x 0,0117 m ³ =	3,82	Lt
CEMENTO	369,4 kg /m ³ x 0,0117 m ³ =	4,31	kg.
ARENA	1032,6 kg/m ³ x 0,0117 m ³ =	12,04	kg.
RIPIO	600,9 kg/m ³ x 0,0117 m ³ =	7,01	kg.



Figura 34. Material para elaborar cilindros.



Figura 35. Cilindros de hormigón.

4.4.2. Hormigón con fibra de caucho reciclado.

Para elaborar los cilindros con adición de fibra de caucho se utilizó el procedimiento planteado en el literal 4.4, tratándole igual que un hormigón convencional.

El hormigón con fibra de caucho de neumáticos fuera de uso (NFU) se obtuvo reemplazando el caucho por el árido fino en diferentes porcentajes de volumen, el motivo por el cual se reemplazó el volumen es debido a sus diferentes pesos específicos,

además es importante recalcar que la granulometría del caucho para este proyecto ingresa en la faja de los finos.

El cálculo de porcentaje y cantidad de fibra de caucho a reemplazar por el árido fino se presenta a continuación:

$$PUS \text{ (peso unitario suelto arena)} = \gamma = 1342 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{masa arena (2 cilindros)} = m = 12,04 \text{ kg}$$

$$\text{Vol (volumen arena)} = \frac{m}{\gamma}$$

$$\text{Vol} = \frac{12,04 \text{ kg}}{1342 \text{ kg/m}^3} = 0,090 \text{ m}^3$$

Cantidad de caucho al reemplazar el 5% del volumen del agregado fino.

$$5\% \text{ Vol} = 5\% * 0,090 = 0,004 \text{ m}^3$$

$$\text{densidad caucho} = \gamma_{\text{caucho}} = 392,11 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{masa caucho (5\%)} = 392,11 \text{ kg/m}^3 \times 0,004 \text{ m}^3$$

$$\text{masa caucho (5\%)} = 0,18 \text{ kg.}$$

$$\text{masa arena 95\% (2 cilindros)} = 95\% \times 12,04 \text{ kg}$$

$$\text{masa arena 95\% (2 cilindros)} = 11,44 \text{ kg}$$

Con los resultados anteriormente planteados, tenemos que la dosificación para 2 cilindros de hormigón con inclusión del 5% de fibra de caucho de neumáticos fuera de uso (NFU) es:

CEMENTO = 4,31 kg

ARENA = 11,44 kg

CAUCHO = 0,18 kg

RIPIO = 7,01 kg

A continuación, se presenta una tabla resumen de la dosificación para la elaboración de hormigón con inclusión de fibra de caucho con los porcentajes de 5%, 10%, 20%, 30%, 40% y 50%. Para todos los porcentajes la cantidad de cemento y grava es la misma; la cantidad necesaria de agua se controló con el ensayo de asentamiento al momento de realizar la fundición por el motivo que el caucho no absorbe agua.

Tabla 31.
Dosificación para 2 cilindros

CEMENTO	4,31	kg.
RIPIO	7,01	kg.

Tabla 32.
Cantidad de fibra de caucho de acuerdo con el porcentaje a reemplazar.

DOSIFICACIÓN DE CAUCHO PARA 2 CILINDROS				
TIPO DE CILINDRO	PORCENTAJE CAUCHO	DENSIDAD [kg/m³]	VOL. [m³]	DOSIFICACIÓN. CAUCHO (kg)
5% H_NFU	5,00%	392,11	0,0004	0,18
10% H_NFU	10,00%		0,0009	0,35
20% H_NFU	20,00%		0,0018	0,70
30% H_NFU	30,00%		0,0027	1,06
40% H_NFU	40,00%		0,0036	1,41
50% H_NFU	50,00%		0,0045	1,76

Tabla 33.

Cantidad de Arena de acuerdo con el porcentaje de caucho reemplazado.

DOSIFICACIÓN DE ARENA PARA 2 CILINDROS				
TIPO DE CILINDRO	PORCENTAJE ARENA	DENSIDAD [kg/m ³]	VOL. [m ³]	DOSIFICACIÓN. ARENA (kg)
5% H_NFU	95,00%	1342,20	0,0085	11,44
10% H_NFU	90,00%		0,0081	10,84
20% H_NFU	80,00%		0,0072	9,64
30% H_NFU	70,00%		0,0063	8,43
40% H_NFU	60,00%		0,0054	7,23
50% H_NFU	50,00%		0,0045	6,02



Figura 36. Material para elaborar hormigón con fibra de caucho.



Figura 37. Cilindros de hormigón con fibra de caucho.

4.4.3. Consistencia del hormigón.

Es una propiedad del hormigón fresco, permite que ocupe todos los huecos sin dejar vacíos en el molde o encofrado, los factores que influyen en la consistencia es la cantidad de agua de la mezcla y el tamaño de los áridos.

La norma NTE INEN 1578, indica el procedimiento para la determinación del asentamiento es el siguiente:

Una muestra de hormigón recién mezclado se coloca dentro de un molde con forma de un cono truncado y se compacta con una varilla. Se levanta el molde permitiendo que el hormigón se asiente. Se mide la distancia vertical entre la altura original y la del centro desplazado de la superficie superior del hormigón, luego de su deformación. Este valor se reporta como el asentamiento del hormigón. (pág. 1).



Figura 38. Medición de asentamiento

Tabla 34.
Consistencia y Asentamiento. Ensayo cono Abrams.

CONSISTENCIA Y ASENTAMIENTO		
Consistencia	Tolerancia	Asentamiento
Seca	0	0 – 2
Plástica	± 1	2 – 6
Blanda	± 1	5 – 10
Fluida	± 2	8 - 1

Fuente: (CONSTRUMÁTICA, 2017)

Para este proyecto se utilizó la consistencia blanda con un asentamiento de 5 a 10 centímetros, y con una compactación manual. A continuación, se presenta los resultados obtenidos.

Tabla 35.

Resultados del Asentamiento del Hormigón.

TIPO DE HORMIGÓN	ASENTAMIENTO (cm)
0% H_NFU	8,4
5% H_NFU	7,5
10% H_NFU	7,2
20% H_NFU	7
30% H_NFU	7,5
40% H_NFU	7
50% H_NFU	6,5

4.5. Curado de especímenes.

El curado de las probetas de hormigón para determinar el porcentaje óptimo de la fibra de caucho, se lo realizó mediante el curado rápido.

La máquina de curado rápido de probetas de hormigón permite curar y obtener en 3 días el valor de la resistencia a la compresión en un 90%.



Figura 39. Curado rápido de probetas de hormigón

4.6. Determinación de la resistencia a la compresión.

Según la norma del INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN NTE INEN 1573, dice que:

Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros moldeados o núcleos de hormigón de cemento hidráulico a una velocidad que se encuentra dentro de un rango definido hasta que ocurra la falla del espécimen. La resistencia a la compresión de un espécimen se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo para el área de la sección transversal del espécimen. (pág. 2)



Figura 40. Determinación de la Resistencia a la compresión.

Los especímenes de hormigón con inclusión de fibra de caucho se ensayaron después de cumplir 3 días en la máquina de curado rápido, obteniendo los resultados que se indica en la **Tabla 36** y la **Tabla 37** del capítulo V.

4.7. PANELES NO ESTRUCTURALES

4.7.1. Tipos de paneles.

4.7.1.1. Paneles portantes

Son elementos de fachada que, aparte de cubrir el edificio, actúan como elementos estructurales que ayudan técnicamente al edificio y mejoran las operaciones de fabricación, transporte y montaje en la obra; ello se debe a que son elementos que actúan como un conjunto de columnas, viga y cerramiento que, comportan una mejora técnica notable.

Las características de los materiales y grosores varían y son flexibles para poder responder a las necesidades de aislamiento, con lo que se obtienen unos resultados muy por encima de la construcción tradicional. (Hormipresa, 2017)

4.7.1.2. Paneles no portantes

Son elementos de fachada que solamente soportan las cargas del viento, la estabilidad horizontal, nieve y térmicas. También puede recibir las cargas de los elementos de carpintería que puedan soportar y las acciones exteriores sobre los mismos. Estos elementos pueden suprimirse sin afectar a la estabilidad del conjunto ni a la estructura. Este tipo de paneles prefabricados solo cumplen la función de envolvente, y se limitan a una función de cerramiento en cuyo caso soportan solo su propio peso. (Sanchez, 2010)

4.7.2. Elaboración de paneles

4.7.2.1. Dimensiones.

Las dimensiones óptimas de los paneles no estructurales de este proyecto de investigación se basaron en características importantes como: economía, peso, espesor y resistencia.

Según Gallegos (2015), el peso de un panel debe ser manejable para una persona, además que al momento de cortar el panel no se debe generar demasiado desperdicio, y al ser colocados que se puedan unir correctamente en obra. (pág. 107)

Medidas propuestas: “El panel debe ser de 0,60m x 1,20m, cubriendo un área de 0,72 m² con un volumen de hormigón de 0,065 m³” (Gallegos, 2015, pág. 108).

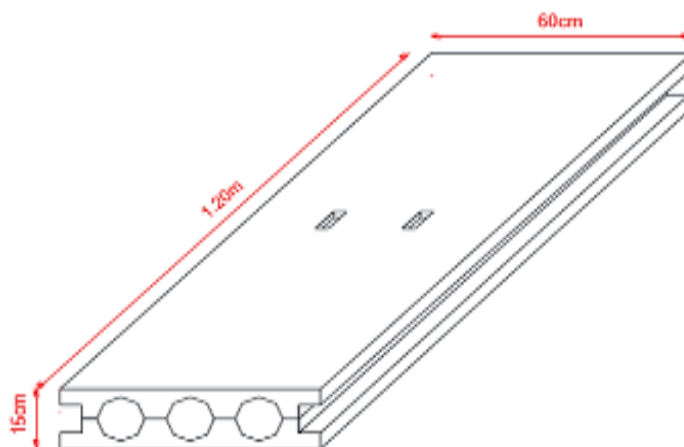


Figura 41. Dimensiones de panel no estructural.

Fuente: (Gallegos, 2015, pág. 108)

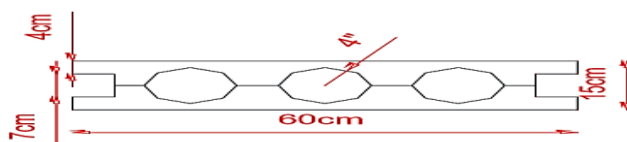


Figura 42. Vista lateral frontal panel no estructural.

Fuente: (Gallegos, 2015, pág. 108)

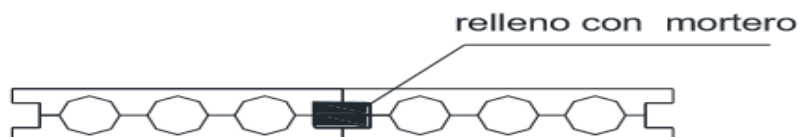


Figura 43. Unión de 2 paneles.

Fuente: (Gallegos, 2015, pág. 109)

4.7.2.2. Procedimiento.

La elaboración de los paneles se realizó en dos partes obteniendo así una manipulación adecuada para dos personas. El encofrado que se utilizó es de madera, además para poder alivianar los paneles se colocó tubos de 4 pulgadas cortados en la mitad longitudinalmente.



Figura 44. Encofrado de los paneles.

La elaboración del hormigón para cada uno de los paneles se lo realizó de acuerdo a los siguientes pasos: se colocó 1/4 del total de agua, luego se añadió el agregado

grueso, cemento y arena de acuerdo a la dosificación, es importante colocar el resto de agua en forma paulatina para que la mezcla quede en el estado correcto.



Figura 45. Elaboración de hormigón

El hormigón se colocó cuidadosamente en el interior del encofrado, el compactado se lo realizó manualmente con ayuda de una varilla.



Figura 46. Fundición de paneles.

Para concluir con la fundición de los paneles, se realizó un paleteado para tener un acabado tipo enlucido y en otros casos el terminado liso.



Figura 47. Panel fresco y terminado

El desencofrado de cada tapa que conforma el panel se debe realizar cuidadosamente para no generar alguna fisura, retirando la madera de los bordes.



Figura 48. Desencofrado de paneles.

Posteriormente los tubos PVC se los retiro al momento que se encontraban en la piscina en la que después siguieron el proceso de curado.



Figura 49. Retiro de tubería PVC

4.7.2.3. Curado

El curado del hormigón permite tener una apropiada humedad y temperatura para que el elemento elaborado pueda alcanzar una resistencia adecuada.

El curado de los paneles se lo realizó durante 28 días mediante el uso de una piscina que permitió mantener la humedad correcta. Además, se observó que después del tiempo transcurrido de curado en ningún panel se generó alguna fisura.



Figura 50. Piscina para curar paneles



Figura 51. Curado de Paneles.

4.7.3. Determinación de la resistencia a la flexión.

El ensayo a flexión de los paneles se utilizó el modelo matemático de una viga simplemente apoyada. Para esto se sometió al panel de hormigón una carga puntual en el centro de la luz.



Figura 52. Panel sometido a carga puntual

Los resultados de los ensayos de la resistencia a flexión se indica en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

En este capítulo se describen los resultados de la resistencia alcanzada al incorporar la fibra de caucho en diferentes porcentajes al hormigón. Además, los valores de la resistencia a la compresión obtenidos del hormigón utilizado en los paneles no estructurales y el resultado de la resistencia a la flexión de los paneles.

5.1. Resultados y Análisis de la resistencia a la compresión

Para poder encontrar una guía base de cual porcentaje está proporcionando mejores resultados respecto a la resistencia a la compresión del hormigón con fibra de caucho, se procedió a realizar fundiciones de cilindros de hormigón con inclusión de fibra de caucho, para esto se reemplazó en la dosificación un porcentaje del volumen determinado de agregado fino por la fibra de caucho de neumáticos fuera de uso, los porcentajes fueron 5%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%.

Para esto se realizaron dos pruebas en la cual se obtuvieron dos cilindros con cada porcentaje,

Los cilindros con inclusión de fibra de caucho en diferentes porcentajes, por motivos de estudio fueron sometidos a un curado rápido por un periodo de 3 días, el cual proyectó los siguientes resultados.

Tabla 36.

Resistencia a la compresión con inclusión de fibra de caucho (Prueba 1).

Resistencia a la compresión de Hormigón con inclusión de fibra de caucho - Prueba 1			
Cilindros	Resistencia 1 (kg/cm ²)	Resistencia 2 (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
5% H_NFU	119,50	109,83	114,67
10% H_NFU	127,71	131,69	129,70
20% H_NFU	136,97	128,80	132,89
30% H_NFU	118,90	118,09	118,50
40% H_NFU	117,54	114,53	116,04
50% H_NFU	113,14	113,97	113,56

Tabla 37.

Resistencia a la compresión con inclusión de fibra de caucho (Prueba 2).

Resistencia a la compresión de Hormigón con inclusión de fibra de caucho - Prueba 2			
Cilindros %NFU	Resistencia 1 (kg/cm ²)	Resistencia 2 (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
5% H_NFU	117,38	115,14	116,26
10% H_NFU	127,18	129,58	128,38
20% H_NFU	132,38	130,09	131,24
30% H_NFU	126,98	121,04	124,01
40% H_NFU	120,58	116,74	118,66
50% H_NFU	115,20	113,79	114,50

Con estos ensayos se obtuvo el porcentaje de caucho con el cual se está comportando mejor el hormigón de acuerdo a la resistencia a la compresión. En la **Figura 53** las curvas indican que el porcentaje en el cual da mayor resistencia a la compresión es el **17% de adición de fibra de caucho** en el hormigón.

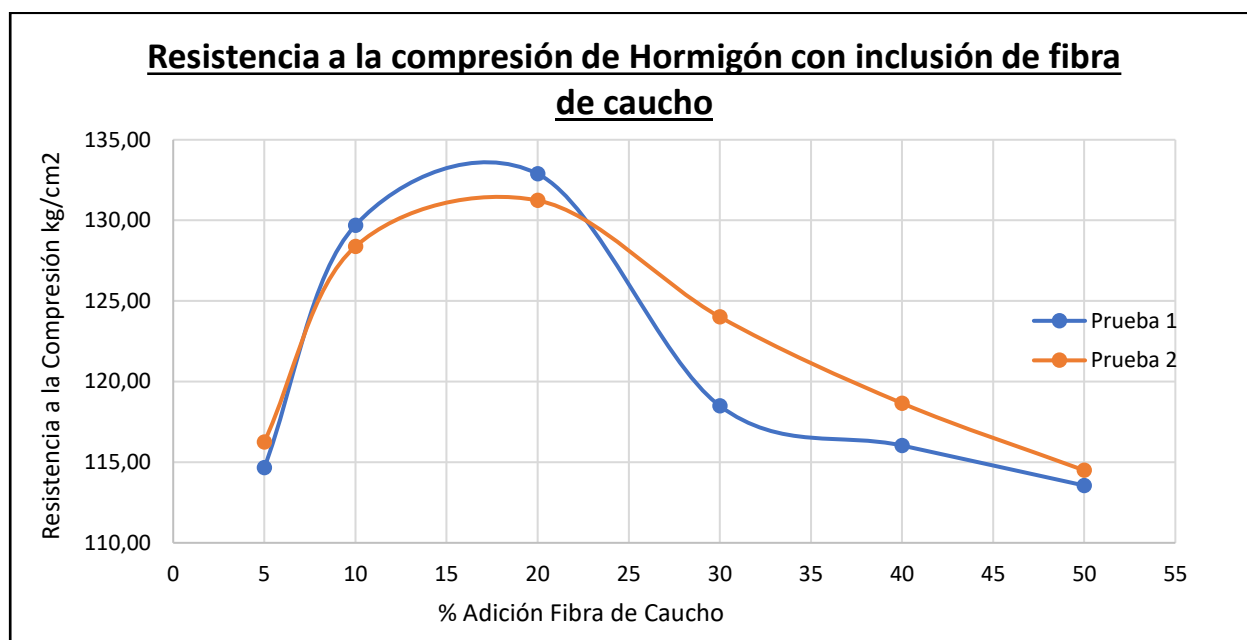


Figura 53. Resistencia a la compresión del Hormigón con inclusión de fibra de caucho.

Con estos resultados se decide elaborar los paneles de hormigón con inclusión de fibra de caucho en diferentes porcentajes 15%, 17%, 19% y 50% y poder realizar el análisis con relación a que porcentaje es el correcto de acuerdo a los resultados obtenidos de resistencia a la compresión del hormigón y resistencia a la flexión de los paneles.

5.2. Resultados ensayo a flexión de los paneles no estructurales.

Los ensayos a flexión se realizó colocando dos partes de panel como se indica en la **Figura 54** la cual se llamó panel tipo I y también solo una parte de panel como la **Figura 55** que se nombró panel tipo II.



Figura 54. Panel tipo I.



Figura 55. Panel tipo II.

A continuación, se presenta los resultados de la fuerza máxima a flexión resistida en los paneles de hormigón sin y con inclusión de fibra de caucho.

Tabla 38.

Carga a la flexión resistida por el panel tipo I.

Panel Tipo I			
% DE CAUCHO	CARGA MÁXIMA RESISTIDA (kg)		
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	PROMEDIO
0% H_NFU	539	510	524,5
15% H_NFU	582	605	593,5
17% H_NFU	444	405	424,5
19% H_NFU	574	652	613
50% H_NFU	406	399	402,5

Tabla 39.

Carga a la flexión resistida por el panel tipo II.

% DE CAUCHO	Panel Tipo II		
	CARGA MÁXIMA RESISTIDA (kg)		
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	PROMEDIO
0% H_NFU	336	319	327,5
15% H_NFU	379	342	360,5
17% H_NFU	232	219	225,5
19% H_NFU	270	290	280
50% H_NFU	295	276	285,5

Al observar los resultados de los dos tipos de paneles se obtiene que el panel de hormigón con **inclusión de fibra de caucho en un 15%** se encuentra con la mejor resistencia a la flexión.

En la siguiente tabla se presenta los resultados obtenidos del peso para una tapa del panel.



Figura 56. Peso de una tapa de panel.

Tabla 40.
Peso de una tapa del panel

% DE CAUCHO	PESO (kg)			
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO
0% H_NFU	73,4	74,2	75,40	74,33
15% H_NFU	69,2	69,8	68,20	69,07
17% H_NFU	67,5	69,3	66,60	67,80
19% H_NFU	65,4	69,4	65,20	66,67
50% H_NFU	61	63	62,40	62,13

A continuación, se indica el porcentaje de reducción del peso de los paneles con inclusión de fibra de caucho en el hormigón respecto a los elaborados con hormigón convencional.

Tabla 41.
Porcentaje de reducción del peso.

% DE CAUCHO	PORCENTAJE
0% H_NFU	0,00%
15% H_NFU	7,09%
17% H_NFU	8,79%
19% H_NFU	10,31%
50% H_NFU	16,41%

5.3. Módulo de elasticidad del hormigón

Según la investigación de Cuásquer González & Altamirano Proaño dice que:

El módulo de elasticidad es aplicable dentro de los rangos de esfuerzos de trabajos acostumbrados de o a 40% de la resistencia última del concreto y son usados para el dimensionamiento de elementos reforzados o no reforzados, para establecer la cantidad de refuerzo y para calcular los esfuerzos para las deformaciones unitarias observadas. (pág. 133)

Este ensayo se realizó con las probetas de hormigón con inclusión de fibra de caucho en los porcentajes 0%, 15%, 17% y 19%. Se usó como equipo una máquina que permita aplicar carga a los cilindros en una velocidad determinada, también un compresómetro con una aproximación de 5 millonésimas que permita determinar el módulo de elasticidad.



Figura 57. Ensayo para determinar el módulo de elasticidad.

A continuación, se presenta los resultados obtenidos del módulo de elasticidad en los diferentes porcentajes de inclusión de caucho al hormigón.

Tabla 42.

Resultados de Módulo de elasticidad

% DE CAUCHO	Módulo de elasticidad (MPa)
0% H_NFU	18331,3457
15% H_NFU	16987,1454
17% H_NFU	14773,9854
19% H_NFU	13826,0671

Con los resultados obtenidos del módulo de elasticidad se plantea las siguientes curvas esfuerzo vs deformación respecto a los diferentes porcentajes de inclusión de fibra de caucho en el hormigón.

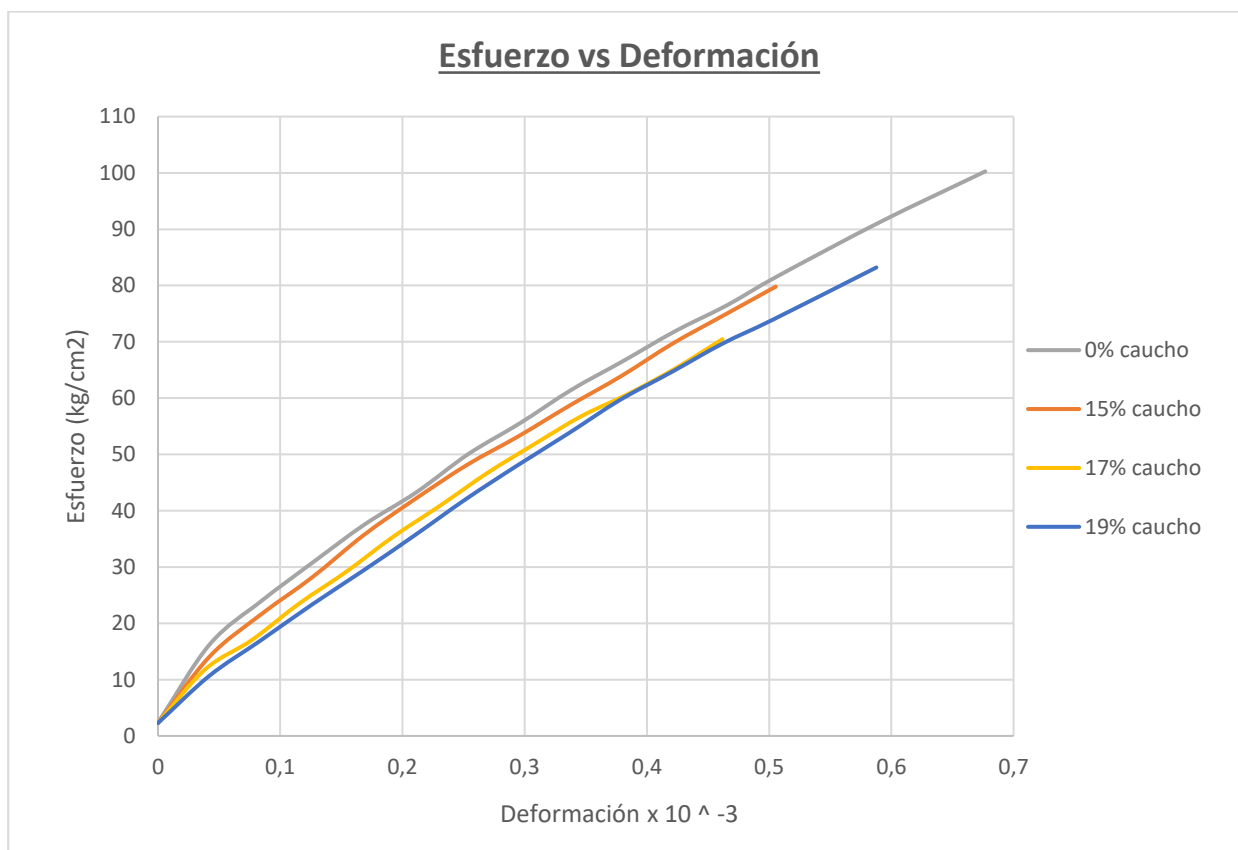


Figura 58. Curvas esfuerzo vs Deformación

Los resultados indican que mientras más caucho se aumenta el módulo de elasticidad del hormigón disminuye.

5.4. Costos

El análisis económico en la industria de la construcción es muy importante, por esta razón se presenta a continuación los valores de los costos unitarios de la investigación realizada sobre los paneles no estructurales de hormigón con inclusión de fibra de caucho de neumáticos fuera de uso.

Para la elaboración de los precios unitarios se consideró el precio de 1 saco de cemento \$7,99 variando en el mercado de acuerdo con el proveedor, 1 m³ de agregado fino \$10,25; 1 m³ de agregado grueso en esta investigación es el árido denominado chispa que tiene un valor de \$4,22 y para la fibra de caucho de los neumáticos fuera de uso se consideró un valor de \$0,01 debido a que este material lo desechan las empresas reencauchadoras.

A continuación, se presenta los resultados de los costos unitarios correspondientes a este proyecto de investigación:

En el análisis de precios unitarios del hormigón con inclusión de fibra de caucho no se consideró la mano de obra, ni maquinaria por motivos de estudio ya que solo se necesitó los precios para verificar la ventaja que le da a los costos del hormigón y en qué porcentaje aumenta o reduce el precio respecto al hormigón convencional.

Tabla 43.

Precios del hormigón con inclusión de fibra de caucho en diferentes porcentajes.

TIPO DE HORMIGÓN	COSTO
H. CONVENCIONAL 0%	\$ 68,73
H. CON 20% CAUCHO	\$ 67,94
H. CON 40% CAUCHO	\$ 67,15
H. CON 50% CAUCHO	\$ 66,75

En la **Figura 59** se observa que mientras mayor porcentaje de caucho reemplaza a la arena el precio del hormigón disminuye.

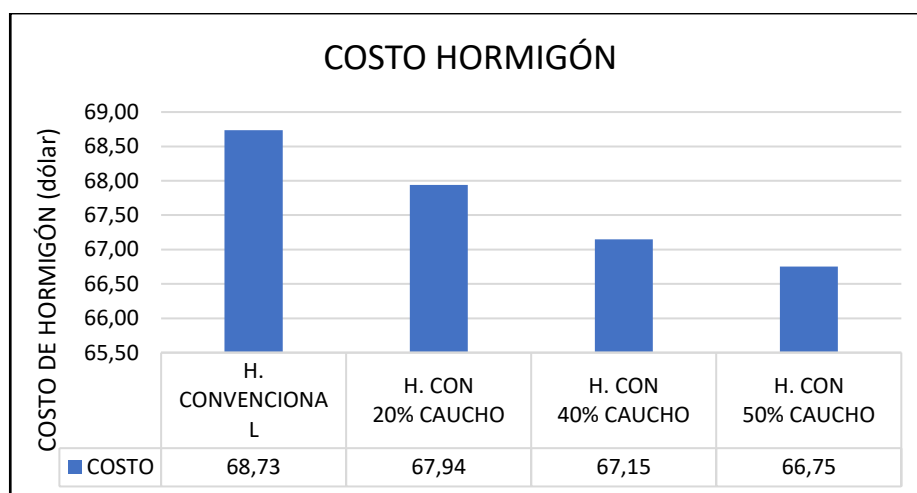


Figura 59. Costos de hormigón con inclusión de fibra de caucho en diferentes porcentajes.

Los resultados siguientes representan el análisis de costos unitarios de los paneles no estructurales de hormigón con inclusión de fibra de caucho. En los precios unitarios se consideró en la mano de obra un maestro y un peón, en equipo lo que es herramienta mayor y una concretera y en materiales el cemento, arena, ripio (chispa), agua y la fibra de caucho.

Tabla 44.
Costos de paneles no estructurales de hormigón.

PANEL	COSTO
0% CAUCHO	\$ 15,76
10% CAUCHO	\$ 15,67
20% CAUCHO	\$ 15,67
30% CAUCHO	\$ 15,62
40% CAUCHO	\$ 15,57
50% CAUCHO	\$ 15,53

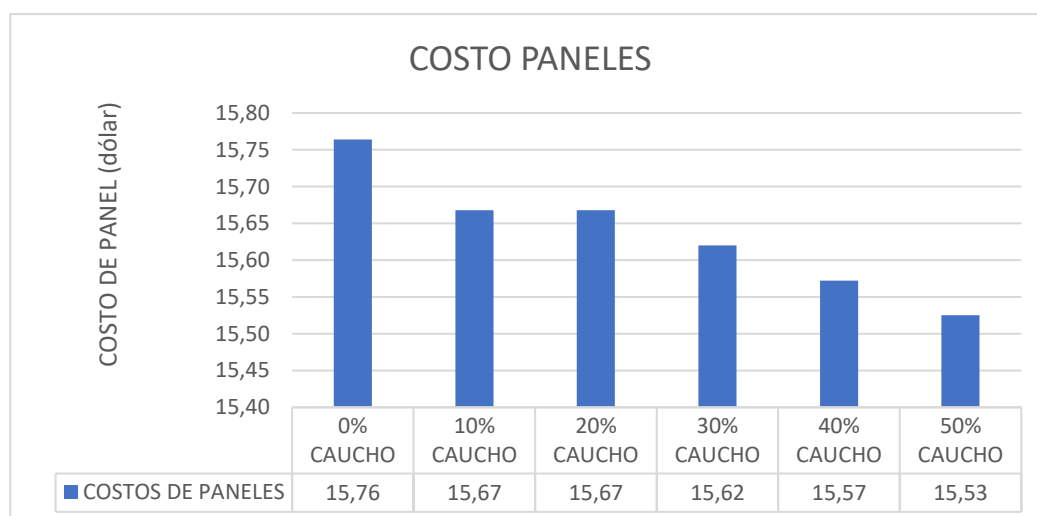


Figura 60. Costo de paneles.

CAPÍTULO VI

6.1. CONCLUSIONES

Después de finalizar el desarrollo de este proyecto de investigación se concluye con los siguientes aspectos relevantes como son:

- La utilización de fibra de caucho de neumáticos fuera de uso en la producción del hormigón ayuda a reducir el impacto ambiental provocado por estos desechos.
- La inclusión de fibra de caucho en el hormigón reduce la generación de fisuras en los elementos de concreto.
- Se demostró que el porcentaje óptimo de reemplazo del agregado fino por la fibra de caucho de los neumáticos fuera de uso es el 17%, para determinar la resistencia a la compresión del hormigón.
- La elaboración de hormigón con inclusión de fibra de caucho disminuye el peso y sirve para reducir la masa de la superestructura.
- A mayor cantidad de fibra de caucho incorporado en el hormigón el módulo de elasticidad disminuye.
- El hormigón con 15% de fibra de caucho reduce su módulo de elasticidad en un 7.9% respecto al hormigón convencional.
- El porcentaje óptimo de fibra de caucho adicionado al hormigón con el que los paneles no estructurales resisten a la flexión de mejor manera es el 15%.

- Los paneles de hormigón con inclusión de fibra de caucho presentan un incremento del 9% de la resistencia a flexión.
- Los paneles no estructurales de hormigón con inclusión de fibra de caucho en un 15% reducen el peso en un porcentaje de 7.09% en relación a los paneles elaborados con hormigón tradicional.
- Cada tapa que conforma el panel con inclusión de fibra de caucho pueden ser colocados por dos personas.
- Con los resultados de ensayo a compresión de los cilindros de hormigón y ensayo a la flexión de los paneles no estructurales, se concluye que el porcentaje óptimo de reemplazo de arena por la fibra de caucho de los neumáticos fuera de uso es el 16%.
- El terminado de paletado o liso de los paneles no estructurales reduce los costos en la construcción.
- El costo del hormigón se reduce al reemplazar el agregado grueso por la fibra de caucho de los neumáticos fuera de uso.

6.2. RECOMENDACIONES

- Los ensayos realizados a los áridos se deben realizar de acuerdo con las normas INEN vigentes en nuestro país o las normas internacionales ASTM.
- Buscar caucho de neumáticos fuera de uso con mayor tamaño granulométrico del utilizado en este proyecto investigativo y reemplazar por el agregado grueso para poder verificar las reacciones de este nuevo producto.

- Se recomienda realizar un estudio de paneles no estructurales con inclusión de fibra de caucho los cuales sean utilizados en patios o pisos.
- En la elaboración de cada tapa que conforma los paneles no estructurales se recomienda realizarlo en un periodo no mayor a 20 minutos y así no dificultar la trabajabilidad y manipulación del hormigón.
- Para finalizar, se recomienda la realización de futuros proyectos de investigación relacionados con la inclusión de fibra de caucho en la producción de hormigón, los cuales cumplan las normas de construcción y medioambientales, además permitan aprovechar los desechos producidos por los neumáticos fuera de uso.

Referencias Bibliográficas

Acevedo, H., Vásquez, A., & Ramirez, D. (2012). *Sostenibilidad: Actualidad y necesidad en el sector de la construcción en Colombia*. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/30825/39307>

ACI 211.1 - Diseño de mezclas de concreto. (19 de Junio de 2016). *Tablas de dosificación de concreto - ACI*. Obtenido de [es.slideshare.net: https://es.slideshare.net/AxelMartnezNieto/tablas-aci-rnc-para-diseo-de-concreto](https://es.slideshare.net/AxelMartnezNieto/tablas-aci-rnc-para-diseo-de-concreto)

AEADE. (16 de Enero de 2017). *Sector Automotor en cifras*. Quito: Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador. Obtenido de www.aeade.net

Ahorro de \$ 115 millones con programa Reusa Llanta. (21 de Octubre de 2011). *Telegrafo*. Obtenido de <http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/informacion-general/1/ahorro-de-115-millones-con-programa-reusa-llanta>

Almeida Salazar, N. (2011). *Utilización de fibras de caucho de neumáticos reciclados en la elaboración de bloques de mampostería para mitigar el impacto ambiental en el cantón ambato*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.

Carrillo Flor, K. G., & Córdova Tafur, S. S. (Enero de 2012). *DOCPLAYER*. Obtenido de docplayer.es/141468144-Escuela-Politéccnica-nacional.html

CONSTRUMÁTICA. (19 de Agosto de 2017). *Consistencia del Hormigón. Método del Cono de Abrams*. Obtenido de https://www.construmatica.com/construpedia/AP-019._Consistencia_del_Hormig%C3%B3n._M%C3%A9todo_del_Cono_de_Abrams._Hormig%C3%B3n_Fresco

Cuásquer González, C. J., & Altamirano Proaño, S. I. (2015). *Evaluación del uso de escorias de acero en la producción de Hormigón*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

DAMA. (2006). Antecedentes para el manejo de residuos Colombia. Obtenido de <http://www.multiobras.info/archivos/PDF/DAMA.pdf>

Disensa. (s.f.). *Disensa*.

El comercio. (14 de Septiembre de 2012). Historia de la llanta. *El comercio*.

El Universo. (23 de Enero de 2016). Las llantas se reinventan con reciclaje. *El Universo*.

Obtenido de <https://www.eluniverso.com/noticias/2016/01/23/nota/5360908/llantas-se-reinventan-reciclaje>

Gallegos, A. (2015). *Diseño de la mezcla de hormigón alivianado usando piedra pómez de Latacunga. Aplicación a la fabricación de paneles prefabricados no estructurales*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Hormigón: Química.es. (30 de Noviembre de 2010). Obtenido de Química.es: <http://www.quimica.es/enciclopedia/Hormig%C3%B3n.html>

Hormigones Ingeniería de Edificación. (2 de Febrero de 2011). Obtenido de Hormigones Ingeniería de Edificación: <http://ocw.usal.es/enseanzas-tecnicas/materiales-ii/contenidos/HORMIGON%20IE.pdf>

Hormipresa. (17 de Octubre de 2017). *Hormipresa*. Obtenido de Hormipresa: <http://www.hormipresa.com>

Inecyc - ACI 211.1 - Tabla 5.3.2.2. (2009). *Resistencia promedio a la compresión cuando no hay datos*. Quito: Instituto Ecuatoriano del cemento y del concreto.

Instituto del Cemento Portland Argentino: ICPA. (27 de Marzo de 2012). *Relación agua cemento*. Obtenido de <http://www.arquitectogustavo.com.ar/Archs/relacion%20agua%20cemento-ICPA.pdf>

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN NTE INEN 1573. (2010). *Hormigón de cemento Hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilindricos de hormigón de cemento hidráulico*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.

Medina, E. (2008). *Construcción de estructuras de Horigòn Armado Edificación 2da Ed.* Madrid: Delta, Publicaciones Universitarias.

Meyer, C. (2009). The Greening of the Concrete Industry . 8-12.

NTE INEN 1 576. (2011). *Hormigón de cemento Hidráulico. Elaboración y curado en obra de especímenes para ensayo*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.

NTE INEN 1578. (2010). *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación del Asentamiento*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.

NTE INEN 1855-2. (2015). *Hormigones. Hormigón preparado en Obra. Requisitos*. Quito: Servicio Ecuatoriano de Normalización.

NTE INEN 696. (2011). *Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.

NTE INEN 856. (2010). *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.

NTE INEN 857. (2010). *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.

NTE INEN 858. (2010). *Determinación de la masa unitaria y el porcentaje de vacíos*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.

NTE INEN 860. (2011). *Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37.5 mm mediante el uso de la máquina de los ángeles*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.

NTE INEN 862. (2011). *Áridos para Hormigón. Determinación del contenido total de Humedad*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.

Oficial, E. (09 de Mayo de 2018). *Módulo 4: Hormigón Características de sus componentes*. Obtenido de El Oficial: <http://www.eloficial.ec/modulo-4-hormigon-caracteristicas-de-sus-componentes/>

Páez, A. (1986). *Hormigón Armado*. Barcelona: Reverté S.A.

Pérez, J., & Sabador, A. (2004). *Calidad del diseño en la construcción*. Madrid: Díaz de Santos, S.A.

Ramírez, A. (2002). La construcción sostenible. En *Monógrafo energía. Física y sociedad*.

Reciclaje, C. C. (16 de Diciembre de 2011). Obtenido de Incorporación de granza de caucho en el hormigón: <https://es.slideshare.net>

Rojas Sieveking, J. (2 de Diciembre de 2008). *Plan de manejo de los Desechos de neumáticos*. Obtenido de Agro 2.0: <http://www.agro20.com/profiles/blogs/2015296:BlogPost:36483>

Romo Proaño, M. (2008). *Temas de Concreto Armado*. Sangolquí: Escuela Politecnica del Ejército.

Sanchez, H. (2010). *Paneles prefabricados de hormigón en fachadas*. Madrid.