



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

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

TEMA:

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL HORMIGÓN SIMPLE Y EL HORMIGÓN
CON FIBRAS DE CAUCHO RECICLADO DE NEUMÁTICOS COMO
REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO Y SU INFLUENCIA EN LA
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN”**

AUTOR: Alexis Sebastián León Merino

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

AMBATO - ECUADOR

Marzo – 2023

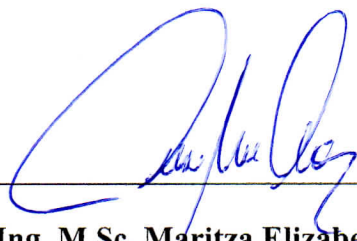
CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: **“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL HORMIGÓN SIMPLE Y EL HORMIGÓN CON FIBRAS DE CAUCHO RECICLADO DE NEUMÁTICOS COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO Y SU INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN”**, elaborado por el Sr. **Alexis Sebastián León Merino**, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 1805272331, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

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

Ambato, marzo 2023



Ing. M.Sc. Maritza Elizabeth Ureña Aguirre

TUTORA

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **Alexis Sebastián León Merino**, con C.I. 1805272331, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental, con el tema: **“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL HORMIGÓN SIMPLE Y EL HORMIGÓN CON FIBRAS DE CAUCHO RECICLADO DE NEUMÁTICOS COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO Y SU INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN”**, así como también tablas, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del trabajo experimental, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, marzo 2023



Alexis Sebastián León Merino

C.I. 1805272331

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

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

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

Ambato, marzo 2023



Alexis Sebastián León Merino

C.I. 1805272331

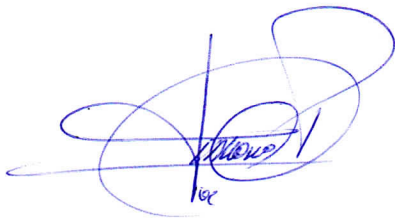
AUTOR.

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

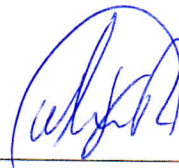
Los miembros de Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Alexis Sebastián León Merino de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL HORMIGÓN SIMPLE Y EL HORMIGÓN CON FIBRAS DE CAUCHO RECICLADO DE NEUMÁTICOS COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO Y SU INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN”**.

Ambato, marzo 2023

Para constancia firman:



Ing. Mg. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera
MIEMBRO CALIFICADOR



Ing. Mg. Wladimir José Ramírez Cabrera
MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación va dedicado a mis padres, Patricio y Alexandra, por apoyarme y acompañarme en cada paso de mi vida en la búsqueda de ser una mejor persona y un gran profesional, y con la bendición de Dios me han guiado inculcándome buenos principios y valores.

A mi abuelita Luz, por sus sabias palabras y grandes consejos para no rendirme y seguir adelante en este camino, por ser siempre mi guía.

A mis tíos, Mauricio, Mary y Gladys, a mis primos, David, Mateo y Geovanny, quienes me han brindado su apoyo incondicional y me han enseñado a siempre luchar por mis sueños.

A mi futura compañera de vida, Natalia, quien ha estado en todos los momentos buenos y malos, por su paciencia y siempre brindándome su apoyo y amor incondicional durante toda esta etapa, quien me alentado a seguir adelante junto con sus consejos cuando más falta me hacía.

A todas las personas que se han convertido en parte de mi familia y siendo un pilar muy importante para superarme y no rendirme hasta cumplir mis sueños, y quienes ya no están junto a mí y desde el cielo me han dado fortaleza y se han convertido en una de mis motivaciones para seguir adelante.

Todo se lo debo a cada uno de ustedes por haberme brindado todo su apoyo, gracias a todos ustedes he alcanzado a cumplir una de mis metas.

ALEXIS LEÓN MERINO

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por permitirme culminar una etapa más de mi vida y por guiar cada uno de mis pasos.

A mi familia por siempre darme una palabra de aliento para lograr cumplir todos mis objetivos y metas.

A Naty por su total apoyo en el transcurso de esta carrera y por siempre brindarme su ayuda para cumplir con este sueño y quien me acompañó en cada paso.

A mis compañeros y grandes amigos que esta etapa universitaria me ha brindado la posibilidad de conocer, quienes con su apoyo y amistad hicieron de esta etapa una de las mejores experiencias de mi vida.

A mi tutora Ing. Maritza Ureña quien no dudó en brindarme su ayuda y compartir su conocimiento para que pueda culminar este trabajo con éxito.

Finalmente, a todos los docentes y personal que componen la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, quienes se encargaron de mi formación académica durante todos estos años, para formarme como un profesional competente que busque mejorar y ayudar a los demás, mi más eterna gratitud.

ALEXIS LEÓN MERINO

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xv
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Antecedentes Investigativos.....	1
1.1.1 Antecedentes	1
1.1.2 Justificación.....	3
1.1.3 Fundamentación Teórica.....	5
1.1.4 Ensayos de caracterización del cemento Tipo IP	14
1.1.5 Ensayos de los agregados del hormigón	14
1.1.6 Fibras de caucho.....	18
1.1.7 Elaboración de las probetas de ensayo.....	19
1.1.8 Ensayo de compresión.....	20
1.2 Objetivos	21
1.2.1 Objetivo General	21

1.2.2	Objetivos Específicos.....	21
CAPÍTULO II		22
METODOLOGÍA		22
1.3	Diseño de la investigación	22
1.3.1	Diseño Experimental.....	22
1.3.2	Enfoque Cuantitativo	22
1.3.3	Método Experimental.....	22
1.4	Población y muestra	23
1.4.1	Población.....	23
1.4.2	Muestra.....	23
1.4.3	Hipótesis.....	24
1.5	Materiales y Equipos.....	24
1.5.1	Materiales.....	24
1.5.2	Equipos.....	26
1.6	Ensayo de componentes del hormigón.....	30
1.6.1	Características del cemento tipo IP	30
1.6.2	Características de los Agregados	30
1.7	Dosificación del Hormigón.....	33
1.7.1	Método de la densidad óptima	33
1.7.2	Datos preliminares para dosificación.....	34
1.7.3	Cálculo de dosificación para $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$	35
1.7.4	Cálculo de dosificación para $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 5% de caucho como reemplazo.....	42
1.7.5	Cálculo de dosificación para $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 10% de caucho como reemplazo.....	43

1.7.6	Cálculo de dosificación para $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 5% de caucho adicional con 2% de aditivo plastificante acelerador.....	44
1.7.7	Cálculo de dosificación para $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 5% de caucho adicional con 2% de aditivo plastificante acelerador.....	45
CAPÍTULO III.....		47
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....		47
1.8	Ensayos de componentes del hormigón.....	47
1.8.1	Determinación de la densidad real del cemento.....	47
1.8.2	Granulometría del agregado grueso	50
1.8.3	Granulometría del agregado fino	53
1.8.4	Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso	57
1.8.5	Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino	59
1.8.6	Contenido de humedad del agregado fino y grueso.....	60
1.8.7	Determinación de la densidad aparente suelta y compactada de los agregados.....	62
1.8.8	Densidad compactada de la mezcla de agregados.....	64
1.9	Propiedades del hormigón en estado fresco.....	66
1.9.1	Densidad del hormigón en estado fresco	66
1.10	Propiedades del hormigón en estado endurecido.....	74
1.10.1	Densidad del hormigón en estado endurecido a los 7 días.....	74
1.10.2	Densidad del hormigón en estado endurecido a los 14 días.....	76
1.10.3	Densidad del hormigón en estado endurecido a los 21 días.....	78
1.10.4	Densidad del hormigón en estado endurecido a los 28 días.....	80
1.10.5	Resistencia a la compresión del hormigón a los 7 días.....	82
1.10.6	Resistencia a la compresión del hormigón a los 14 días.....	84
1.10.7	Resistencia a la compresión del hormigón a los 21 días.....	86

1.10.8 Resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días.....	88
1.10.9 Comparación de resistencia a la compresión del hormigón en diferentes edades y dosificaciones.....	90
1.11 Validación de la hipótesis	90
CAPÍTULO IV.....	91
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	91
1.12 Conclusiones	91
1.13 Recomendaciones.....	92
BIBLIOGRAFÍA	93
ANEXOS	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición química del Cemento Portland	8
Tabla 2: Requisitos físicos del cemento.....	10
Tabla 3: Requerimientos químicos del cemento tipo IP.	11
Tabla 4: Requerimientos físicos del cemento tipo IP.	12
Tabla 5: Límites Granulométricos para Agregado Fino [20].....	15
Tabla 6: Límites Granulométricos para Agregado Grueso [20].	16
Tabla 7: Propiedades del caucho de neumáticos [26].	18
Tabla 8: Cuadro de experimentos	24
Tabla 9: Materiales utilizados en investigación.....	24
Tabla 10: Equipos necesarios para la investigación.....	26
Tabla 11: Datos preliminares para dosificación según el método de la densidad óptima.....	34
Tabla 12: Relación Agua/Cemento en función de resistencia a la compresión a los 28 días.	35
Tabla 13: Porcentaje de cantidad de pasta en función del asentamiento.	36
Tabla 14: Dosificación por parada de hormigón.....	39
Tabla 15: Corrección de dosificación por contenido de humedad y capacidad de absorción.	41
Tabla 16: Dosificación para 12 cilindros de Hormigón Simple $f'c=210\text{Kg/cm}^2$	42
Tabla 17: Dosificación para 12 cilindros de Hormigón Simple $f'c=210\text{Kg/cm}^2$ con 5% de reemplazo de agregado fino por fibras de caucho.....	43
Tabla 18: Dosificación para 12 cilindros de Hormigón Simple $f'c=210\text{Kg/cm}^2$ con 10% de reemplazo de agregado fino por fibras de caucho.....	44
Tabla 19: Dosificación para 12 cilindros de Hormigón Simple $f'c=210\text{Kg/cm}^2$ con 5% de adición de fibras de caucho y 2% de aditivo plastificante.	45

Tabla 20: Dosificación para 12 cilindros de Hormigón Simple $f'c=210\text{Kg/cm}^2$ con 10% de adición de fibras de caucho y 2% de aditivo plastificante.	46
Tabla 21: Densidad real del cemento tipo IP por el método del picnómetro.....	47
Tabla 22: Densidad real del cemento tipo IP por el método del frasco Le Chatelier.	48
Tabla 23: Granulometría del agregado grueso ensayo 1.....	50
Tabla 24: Granulometría del agregado grueso ensayo 2.....	51
Tabla 25: Granulometría del agregado grueso ensayo 3.....	52
Tabla 26: Granulometría del agregado fino ensayo 1.....	53
Tabla 27: Granulometría del agregado fino ensayo 2.....	54
Tabla 28: Granulometría del agregado fino ensayo 3.....	55
Tabla 29: Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso.....	57
Tabla 30: Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino.....	59
Tabla 31: Contenido de humedad del agregado fino.	60
Tabla 32: Contenido de humedad del agregado grueso.	61
Tabla 33: Densidad aparente suelta del agregado fino y grueso.....	62
Tabla 34: Densidad aparente compactada del agregado fino y grueso.	63
Tabla 35: Densidad compactada de la mezcla de agregados.	64
Tabla 36: Porcentajes y densidades máximas y óptimas de agregados.	66
Tabla 37: Nomenclatura de dosificaciones para tablas y gráficos.....	66
Tabla 38: Densidad en estado fresco de hormigón $f'c=210\text{ Kg/cm}^2$ con 0% de reemplazo de agregado fino.	67
Tabla 39: Densidad en estado fresco de hormigón $f'c=210\text{ Kg/cm}^2$ con 5% de reemplazo de agregado fino.	68
Tabla 40: Densidad en estado fresco de hormigón $f'c=210\text{ Kg/cm}^2$ con 10% de reemplazo de agregado fino.	69

Tabla 41: Densidad en estado fresco de hormigón $f_c=210$ Kg/cm ² con 5% de adición de fibras de caucho y 2% de aditivo plastificante.	70
Tabla 42: Densidad en estado fresco de hormigón $f_c=210$ Kg/cm ² con 10% de adición de fibras de caucho y 2% de aditivo plastificante.	71
Tabla 43: Asentamiento y consistencia del hormigón fresco.	73
Tabla 44: Densidad del hormigón endurecido a los 7 días.	74
Tabla 45: Densidad del hormigón endurecido a los 14 días.	76
Tabla 46: Densidad del hormigón endurecido a los 21 días.	78
Tabla 47: Densidad del hormigón endurecido a los 28 días.	80
Tabla 48: Resistencia a la compresión del hormigón a los 7 días.....	82
Tabla 49: Resistencia a la compresión del hormigón a los 14 días.....	84
Tabla 50: Resistencia a la compresión del hormigón a los 21 días.....	86
Tabla 51: Resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días.....	88

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Densidad real del cemento tipo IP por el método del picnómetro.....	49
Gráfico 2: Densidad real del cemento tipo IP por el método del frasco Le Chatelier.	49
Gráfico 3: Granulometría del agregado grueso (Ensayo 1).	50
Gráfico 4: Granulometría del agregado grueso ensayo 2.....	51
Gráfico 5: Granulometría del agregado grueso ensayo 3.....	52
Gráfico 6: Granulometría del agregado fino ensayo 1.....	54
Gráfico 7: Granulometría del agregado fino ensayo 2.....	55
Gráfico 8: Granulometría del agregado fino ensayo 3.....	56
Gráfico 9: Curva densidad compactada vs % de mezcla.	65
Gráfico 10: Densidades promedio del hormigón en estado fresco.	72
Gráfico 11: Asentamiento del hormigón fresco.....	73
Gráfico 12: Densidad promedio del hormigón endurecido a los 7 días.....	75
Gráfico 13: Densidad promedio del hormigón endurecido a los 14 días.....	77
Gráfico 14: Densidad promedio del hormigón endurecido a los 21 días.....	79
Gráfico 15: Densidad promedio del hormigón endurecido a los 28 días.....	81
Gráfico 16: Resistencia promedio a la compresión del hormigón a los 7 días	83
Gráfico 17: Resistencia promedio a la compresión del hormigón a los 14 días	85
Gráfico 18: Resistencia promedio a la compresión del hormigón a los 21 días	87
Gráfico 19: Resistencia promedio a la compresión del hormigón a los 28 días	89
Gráfico 20: Comparación de resistencias a la compresión en diferentes dosificaciones.	90

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Ensayo a compresión	20
Ilustración 2: Tipos de fallas en los cilindros de hormigón	21
Ilustración 3: Esquema de cilindro de hormigón	38

RESUMEN

Durante muchos años la eliminación de neumáticos ha sido un tema que afecta a nivel mundial debido a que es uno de los materiales más difíciles de degradar, por lo que resulta nocivo para el medio ambiente.

Este proyecto se enfoca en el uso de hormigón elaborado con fibras de caucho reciclado como contribución al medio ambiente, donde se realizó ensayos que evidencian el incremento de resistencia a la compresión.

Se inició por someter al hormigón simple y aquellos que contenían el reemplazo del 5 y 10 por ciento de partículas de caucho reciclado con un tamaño de 2 a 4mm, a ensayos de compresión a la edad de 7, 14, 21 y 28 días, donde la resistencia del hormigón simple alcanzó un valor máximo de 216.71 Kg/cm², mientras que el grupo con reemplazo del 5 y 10 por ciento de caucho tan solo logró una resistencia de 164.71 y 153.87 Kg/cm² respectivamente, con ello reflejó no tener mayor resistencia que el hormigón simple, por lo cual se añadió un grupo experimental extra que conserva la dosificación del hormigón simple y se adiciona fibras de caucho al 5 y 10 por ciento más un aditivo plastificante en un 2 por ciento, donde se obtuvo valores de 227.16 kg/cm² al 5 por ciento y 220.62 Kg/cm² al 10 por ciento, por lo que demostró un incremento significativo en la resistencia.

Finalmente se determina que el caucho reciclado es un excelente potenciador de resistencia en combinación con un aditivo plastificante, por lo que, resulta óptima su incorporación hasta un 5 por ciento.

Palabras claves: Caucho reciclado, Hormigón simple, Resistencia a la compresión, Densidad endurecida, Dosificación.

ABSTRACT

For many years the disposal of tires has been an issue that affects the world because it is one of the most difficult materials to degrade, so it is harmful to the environment.

This project focuses on the use of concrete made with recycled rubber fibers as a contribution to the environment, where tests were carried out to demonstrate the increase in compressive strength.

It began by subjecting the simple concrete and those containing the replacement of 5 and 10 percent of recycled rubber particles with a size of 2 to 4mm, to compression tests at the age of 7, 14, 21 and 28 days, where the resistance of the simple concrete reached a maximum value of 216.71 kg/cm², while the group with replacement of 5 and 10 percent of rubber only achieved a resistance of 164.71 and 153.87 kg/cm² respectively, with the group with replacement of 5 and 10 percent of rubber only achieved a resistance of 164.71 and 153.87 kg/cm² respectively. 87 kg/cm² respectively, thus reflecting that it did not have a higher resistance than the simple concrete, for which an extra experimental group was added that conserved the dosage of the simple concrete and added rubber fibers at 5 and 10 percent plus a plasticizing additive at 2 percent, where values of 227.16 kg/cm² at 5 percent and 220.62 kg/cm² at 10 percent were obtained, thus demonstrating a significant increase in resistance.

Finally, it was determined that recycled rubber is an excellent strength enhancer in combination with a plasticizing additive, so its incorporation up to 5 percent is optimal.

Keywords: Recycled rubber, Simple concrete, Compressive strength, Hardened density, Dosage.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes Investigativos

1.1.1 Antecedentes

Los autores Nistal, Retana & Ruiz [1] en su trabajo de investigación denominado “El Hormigón: Historia, Antecedentes en obras y factores indicativos de su resistencia”, señalan que durante el año 150 A.C. época dorada del imperio romano, el hormigón se destacó por ser uno de los principales elementos de la construcción, mismo que logró un grado de satisfacción altamente significativo debido al avance de su aplicación en estructuras e infraestructuras; esto lograron gracias a sus habilidades constructivas y ubicación geográfica que les permitía obtener materiales con abundantes propiedades cementicias y conseguir la mezcla adecuada con propiedades físicas y mecánicas similares al hormigón actual.

Posteriormente con el pasar de los años en la década de los 50 del siglo XIX, el hormigón se modernizó y dio sus primeros pasos hacia el hormigón armado época conocida como la “Era del hormigón moderno” misma que inició con Jhon Smeaton, considerado padre de la ingeniería moderna, el cual fue el encargado de la construcción de un faro sobre una roca sobresaliente quien luego de varios intentos fallidos logró descubrir algunas propiedades de acuerdo a la reacción que observó en el mortero.

Por otro lado, los autores también mencionan un incremento de resistencia y durabilidad del hormigón a futuro, sin embargo, esto no es posible sin la ayuda de aditivos, mismos que en la actualidad han ido innovando para lograr que el hormigón cumpla estándares internacionales de calidad.

Durante varios años el objetivo principal del campo de la construcción ha sido innovar y perfeccionar la calidad y resistencia de sus materiales, tal es el caso del hormigón, que para alcanzar dicho propósito ha sido sometido a diversas pruebas en combinación con materiales de distinta naturaleza. Un claro ejemplo de ello, fue la inclusión de materiales reciclados como complemento del hormigón, mismos que fueron convertidos en fibras y a través de varios estudios han demostrado mejorar las

propiedades en sus etapas básicas, por esta razón el uso del concreto modificado con fibras en la actualidad ha pasado de ser pequeños experimento a utilizarse en plantas de prefabricados, sin embargo, algunos otros experimentos han determinado que el uso excesivo de fibras puede ocasionar el efecto contrario con respecto a la resistencia.

Los autores Farfán y Leonardo [2] en su artículo de investigación acerca del “Caucho reciclado en la resistencia a la compresión y flexión del concreto modificado con aditivo plastificante” infieren que la calidad del hormigón es consecuente de la calidad de los materiales y de la forma en que se los mezcla, por lo que, la incorporación de caucho reciclado como reemplazo de los agregados en conjunto con un aditivo plastificante contribuye al incremento de la resistencia mecánica del hormigón hasta en un 10%, además de ayudar a la protección del medioambiente al darle una nueva utilidad a los neumáticos fuera de uso que son los que causan daño en gran magnitud.

Según los autores Peláez, Velásquez & Giraldo [3] en su artículo alusivo a las “Aplicaciones de caucho reciclado: Una revisión de la literatura”, analizan sobre la problemática que conlleva los desechos provenientes de los neumáticos que se encuentran fuera de uso y que han generado tanto problemas ambientales como impactos negativos en la salud humana en la última década, mismos que año tras año han ido incrementando, es por ello que buscan alternativas que brinden una solución efectiva; es así como la reutilización de este tipo de material se vuelve común en distintas zonas como: pavimentos, agregados en material de construcción, material decorativo en jardines, patios, pistas deportivas, etc.

Por consiguiente, se ha evidenciado que la aplicación del caucho en el área de la infraestructura y de obras civiles poco a poco se ha vuelto frecuente y toma mayor realce en asfaltos, hormigones y como material aislante para la construcción, esto debido a, que las fibras de caucho reciclado otorgan ventajas ambientales y económicas significativas sin dejar de lado el incremento de la resistencia a la fatiga e impacto, convirtiéndose en un componente clave para la construcción de edificaciones y vías, además de tener otro uso en la fabricación de pisos antideslizantes para áreas recreativas y deportivas, aisladores sísmicos y acústicos.

Esto da como resultado alternativas viables tanto económicas como innovadoras, por lo que es necesario impulsar el sector encargado del tratamiento de los neumáticos

fuera de uso tomándolo como un desafío a corto plazo para países cuyo crecimiento implique un aumento significativo en el sector de la construcción y que a su vez trabaje por la protección y contribución al medioambiente en conjunto con la economía de la población.

Por todo lo anteriormente expuesto, se ha visto necesario la realización de esta investigación debido a que es un campo poco estudiado en cuanto a la reutilización de uno de los principales materiales contaminantes, razón por la que esta información contribuye en gran porcentaje a su implementación en el área de la construcción.

1.1.2 Justificación

El incremento de la población a través del tiempo y el desarrollo de actividades productivas y de explotación de recursos renovables y no renovables ha provocado que en los últimos años se vea un notable deterioro del medioambiente y se opte por buscar mecanismos que contribuyan a la conservación y protección para evitar un posible desequilibrio ecológico siendo uno de los principales contaminantes el caucho al ser un material difícil de desaparecer o degradar.

A nivel global, el caucho es un elemento usado ampliamente con fines industriales en la elaboración de productos aislantes, impermeables, calzado y neumáticos debido a sus propiedades mecánicas siendo la resistencia la más destacada, sin embargo, sus residuos han sido una problemática hasta la actualidad y que con el pasar del tiempo ha ido aumentando debido a su impacto negativo en el medio ambiente. Por este motivo la legislación ambiental ha puesto mayor interés en el incremento de medidas para dar solución y plantear alternativas para la reutilización de los residuos de caucho.

Los autores Peláez, Velásquez y Giraldo [4] en su artículo acerca de las aplicaciones del caucho reciclado mencionan que entre un 65% y 70% del caucho producido es destinado a la elaboración de llantas, de las cuales alrededor de 17 millones de toneladas se encuentran fuera de uso anualmente alrededor del mundo, tomando en consideración que en un principio la mayoría de estos residuos eran desechados directamente en vertederos. Además, se afirma que países desarrollados como Taiwán, Estados Unidos, Japón y la Unión Europea fueron pioneros en adoptar medidas en sus industrias creando legislaciones que incentiven la reutilización del caucho en sus procesos.

En Ecuador, según datos obtenidos del INEC hasta el año 2014, de un total de 1,7 millones de vehículos que circulan en el país se genera aproximadamente 7,1 millones de llantas usadas de las cuales un porcentaje se destina al proceso de reencauche y el otro porcentaje queda como residuo. Por otra parte, mediante el Ministerio del Ambiente hasta el año 2018, se conoce que un estimado de 2,4 millones de neumáticos son desechados anualmente en carreteras, terrenos baldíos o mares que equivalen al 30% de contaminación [5].

Pese a la gran problemática que ocasiona este tipo de residuos el país no cuenta con la tecnología requerida para el tratamiento de estos, a más de ello, el gobierno y ni los ciudadanos muestran mayor interés por mitigar el impacto ambiental negativo que produce estos desechos y tan solo existe un número reducido de empresas privadas que se dedican a buscar alternativas de reutilización de este material.

Actualmente Tungurahua cuenta con 29 distribuidoras de neumáticos, de las cuales solo una posee una planta de reciclaje (Comercial Cisneros) debido al alto costo que requiere, convirtiéndose en otra problemática la escasez de plantas para la deposición y tratamiento de neumáticos en desuso y estudios técnicos lo que genera preocupación en el ámbito social y ambiental al incrementarse el porcentaje de llantas presentes en vertederos [6].

Por este motivo, en algunas ciudades se han establecido normas y exigencias a los fabricantes, comercializadores y usuarios en búsqueda de alternativas para el aprovechamiento de los residuos de neumáticos lo que ha incentivado la realización de diversas investigaciones acerca de sus beneficios en distintas áreas.

Una de ellas es su gran aporte en la construcción, específicamente en la elaboración del hormigón, pues al añadirse este material de desecho puede dar como resultado el incremento en su resistencia; ésta propiedad mecánica se la puede calcular y comprobar mediante ensayos a compresión debido a que el hormigón es evaluado para verificar la máxima resistencia que presentaría al ser usado en elementos estructurales que soportan cargas de compresión continua, por tal razón este tipo de investigaciones resultan bastante beneficiosas al mismo tiempo que amplían significativamente las técnicas de reciclaje y fortalecen las obras civiles. [7]

1.1.3 Fundamentación Teórica

1.1.3.1 Hormigón

Dentro del campo de la construcción el hormigón es un material que ha sido utilizado desde tiempos inmemorables, convirtiéndose cada época en materia prima para la fabricación de elementos estructurales, su composición se encuentra básicamente conformada por agregados finos y gruesos, cemento y agua, aunque en los últimos años se han agregado ciertos aditivos dependiendo del uso que se le dé. [8]

1.1.3.1.1 Propiedades del hormigón

Hormigón Fresco

Los autores en su libro describen al hormigón fresco como un material heterogéneo en el cual se pueden distinguir claramente los elementos por el que está compuesto, entre ellos, sólidos (áridos finos y gruesos), líquidos (aire) y gaseosos (aire ocluido) [9].

Algunas de las propiedades que lo caracterizan se detallan a continuación:

➤ *Consistencia*

Es la capacidad del hormigón en estado fresco para mantener en suspensión todas las partículas que lo componen, además esta dependerá del tamaño, forma del árido y cantidad de agua y se mide a través del ensayo del Cono de Abrams.

➤ *Homogeneidad*

Cualidad por la que sus componentes se encuentran distribuidos uniformemente por toda la masa, esta se consigue y se mantiene mediante un buen amasado, transporte y cuidado y puede perderse por segregación.

➤ *Trabajabilidad*

Esta se refiere a la facilidad que presenta el hormigón para adaptarse a cualquier tipo de encofrado con mínima cantidad de vibración.

➤ *Peso específico*

Cantidad de peso por unidad de volumen sufriendo variaciones a causa del tipo de áridos y la puesta en obra.

Hormigón Endurecido

Es la etapa en la que el hormigón ha perdido humedad y adquirido dureza y resistencia, es decir, a paso de estado fresco a uno endurecido.

Dentro de sus propiedades se destacan las siguientes:

➤ *Resistencia a compresión*

Capacidad que presenta el hormigón endurecido para soportar cargas a compresión, dicha resistencia alcanza su máxima capacidad a los 28 días de fraguado bajo condiciones controladas de humedad.

➤ *Densidad*

Se define como el peso por unidad de volumen que depende de diversos factores como la granulometría de los áridos y el método de compactación utilizada [9].

➤ *Compacidad*

Esta depende de los mismos factores que la densidad, pues busca introducir en un volumen determinado la mayor cantidad posible de áridos y que los huecos dejados por estos sean rellenos con pasta de cemento eliminando las burbujas de aire [10].

➤ *Permeabilidad*

Es la facilidad que presenta el hormigón al ser atravesado por un fluido sea líquido o gaseoso, esta característica depende sustancialmente de la relación agua/cemento.

➤ *Durabilidad*

Es la capacidad del hormigón para resistir el paso del tiempo sin perder sus propiedades [11].

1.1.3.1.2 Componentes del hormigón

1.1.3.1.2.1 Cemento

Es un conglomerante integrado principalmente por Clinker, el cual es resultado de la molienda conjunta producto de la cocción de una mezcla de caliza y arcilla y de un material empleado como regulador de fraguado que generalmente es el yeso deshidratado. Todos estos elementos al entrar en contacto con el agua tienen la capacidad de endurecerse tanto en el aire como debajo del agua [12].

Con el pasar del tiempo y la evolución tecnológica los procedimientos han innovado lo que ha permitido elaborar distintos tipos de cemento acorde a las necesidades actuales del ámbito de la construcción, donde se destacan ciertas características que se toman en cuenta:

Primera generación: se clasifican según su composición química

Segunda generación: se añaden componentes adicionales no tradicionales donde se toma en cuenta la relación cantidad-calidad

Tercera generación: se enfatiza en el desempeño que se requiere del producto para su trabajabilidad

Tipos de cemento

- **Cemento Portland**

Denominado a aquel cemento hidráulico que proviene de la pulverización del Clinker, este a su vez consiste en silicatos cálcicos hidráulicos con otros elementos añadidos como sulfato de calcio, 5% de piedra caliza y adiciones. Esto según los requisitos de la norma NTE INEN 152.

Componentes

- Clinker de cemento portland
- Agua o sulfato de calcio en cantidades establecidas en la norma
- Caliza, cantidad no mayor al 5.0% en masa, la piedra debe ser material natural que contenga mínimo un 70% en masa de las formas minerales de carbonato de calcio
- Adiciones inorgánicas de proceso, cantidad no más del 5.0% respecto a la masa de cemento y no más de una adición a la vez, las cantidades deben cumplirse de acuerdo a lo estipulado en la norma ASTM C465.
- Adiciones incorporadas de aire (aplica únicamente en el cemento portland que contenga incorporador de aire) su adición debe cumplirse de acuerdo a los requisitos de la norma ASTM C 226. [13]

Composición química

Tabla 1: Composición química del Cemento Portland

Parámetro	Rango
Oxido de calcio (CaO)	60-67
Sílice (SiO ₂)	17-25
Alúmina (Al ₂ O ₃)	3-8
Óxido de hierro (Fe ₂ O ₃)	0.5-6
Magnesia (MgO)	0.1-4
Cal libre	0-2
Sulfatos (SO ₃)	1-3

Fuente: Instituto Español del cemento y sus aplicaciones.

- **Cemento Hidráulico desempeño**

Un cemento hidráulico es aquel que fragua y endurece a causa de la reacción química con agua o estando bajo la misma. para el cumplimiento de requisitos de desempeño se rige según la norma NTE INEN 2380, donde se muestra los tipos:

- Tipo GU: Para todo tipo de construcción en general
- Tipo HE: Alta resistencia inicial
- Tipo MS. Moderada resistencia a los sulfatos
- Tipo HS: Alta resistencia a los sulfatos
- Tipo MH: Moderado calor de hidratación
- Tipo LH: Bajo calor de hidratación

Clasificación

➤ ***Tipo I GU (Uso General)***

Es aquel cemento de uso general que puede ser utilizado en cualquier tipo de construcción siempre que ésta no requiera de características especiales, debido a su resistencia y durabilidad permiten una adecuada trabajabilidad con las mezclas.

➤ ***Tipo II MS-MH (Moderada resistencia a sulfatos y al calor de hidratación)***

Aquel que posee resistencia moderada a los sulfatos (sustancias que deterioran el concreto y se encuentran presentes en aguas subterráneas o suelos) es aconsejable usarlo en ambientes agresivos, no contiene más del 8% de aluminato tricálcico.

➤ ***Tipo III HE (Altas resistencias iniciales)***

Este es aquel que desarrolla rápida resistencia dentro de una semana o menos, por lo que es ideal para climas fríos debido a que produce alto calor al fraguar, es ideal para remover encofrados a la brevedad, cuando se desea poner la estructura en servicio rápidamente.

➤ ***Tipo IV LH (Bajo calor de hidratación)***

Este tipo de cemento es aquel que produce bajo calor por lo que es adecuado para cuando se deba minimizar el calor generado por la hidratación, por ejemplo, en vaciados de grandes masas de concreto, como presas por gravedad.

➤ ***Tipo V HS (Alta resistencia a sulfatos)***

Aquel que contiene alta capacidad de resistencia al ataque de sales, esto como resultado de su bajo contenido en aluminato tricálcico, no excediendo el 5%; este tipo de cemento es idóneo para cuando el concreto entra en contacto con el agua o ambientes salinos, tales como canales, estructuras, aguas subterráneas, obras portuarias, piscinas, acueductos, etc.

Tabla 2: Requisitos físicos del cemento.

Tipo de cemento	Norma	GU	HE	MS	HS	MH	LH
Finura	INEN 196	A	A	A	A	A	A
Cambio de longitud por auto clave % máx.	INEN 200	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Tiempo de fraguado métodos de Vicat	INEN 158				m		
Inicial no menos de minutos		45	45	45	45	45	45
Inicial no más de minutos		420	420	420	420	420	420
Contenido de aire del mortero, volumen, %	INEN 195	C	C	C	C	C	C
Resistencia a compresión MPa, mínimo	INEN 488						
1 día		-	12	-	-	-	-
3 días		13	24	11	11	5	-
7 días		20	-	18	18	11	11
28 días		28	-	-	25	-	21
Calor de hidratación	INEN 199						
7 días, KJ/Kg (máx.)		-	-	-	-	290 (70)	250
28 días, KJ/Kg (máx.)		-	-	-	-	-	(60) 290 (70)
Expansión en barra de mortero, 14 días (máx.)	INEN 2529	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
Expansión por sulfatos (resistencia)	INEN 2503						
6 meses % (máx.)		-	-	0,10	0,05	-	-
1 año % (máx.)		-	-	-	0,10	-	-

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización. [14]

- **Cemento Hidráulico Compuesto**

Para este tipo de cemento parte del Clinker es sustituido por componentes minerales para la obtención del cemento con desempeño equivalente al cemento puro, dicho de otro modo, este tipo consiste en la combinación del portland con cemento de escoria y una puzolana.

Clasificación

- Tipo IS cemento portland de escoria de altos hornos
- Tipo IP cemento portland puzolánico
- Tipo IT cemento compuesto ternario

Tabla 3: Requerimientos químicos del cemento tipo IP.

Tipo de cemento	Método de ensayo aplicable	IS (<70), IT (P<S<70)	IS (≥70), IT (S≥70)	IP, IT (P≥S)
Oxido de magnesio (MgO), % máximo	INEN 160	-	-	6,0
Sulfato, reportado como (SO ₃), % máximo	INEN 160	3,0	4,0	4,0
Sulfuro, reportado como S ²⁻ , % máximo	INEN 160	2,0	2,0	-
Residuo insoluble, % máximo	INEN 160	1,0	1,0	-
Pérdida por calcinación, % máximo	INEN 160	3,0	4,0	5,0

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización. [15]

Tabla 4: Requerimientos físicos del cemento tipo IP.

Tipo de cemento	Norma	IS (<70), IT (P<S<70), IP, IT (P≥S)	IS (<70) (MS), IT (P<S<70) (MS), IP (MS), IT (P≥S) (MS)	IS (<70) (HS), IT (P<S<70) (HS), IP (HS), IT (P≥S) (HS)	IS (≥70), IT (S≥70)	IP (LH), IT (P≥S) (LH)
Finura	NTE INEN 196, NTE INEN 957	c	c	c	c	c
Expansión en autoclave, % máximo	NTE INEN 200 NTE INEN 200	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Contracción en autoclave, % máximo		0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Tiempo de fraguado, ensayo de Vicat:	NTE INEN 158					
Fraguado, minutos, no menor a		45	45	45	45	45
Fraguado, horas, no mayor a		7	7	7	7	7
Contenido de aire en el mortero, volumen % máximo	NTE INEN 195	12	12	12	12	12

Resistencia a la compresión, mínimo, MPa	NTE INEN 488					
3 días						
7 días		13,0	11,0	11,0	-	-
28 días		20,0	18,0	18,0	5,0	11,0
		25,0	25,0	25,0	11,0	21,0
Calor de hidratación máximo:	NTE INEN 199					
7 días, kJ/kg		290	290	290	-	250
(cal/g)		(70)	(70)	(70)	-	(60)
28 días, kJ/kg		330	330	330	-	290
(cal/g)		(80)	(80)	(80)	-	(70)
Requerimiento de agua, % máximo, en peso del cemento	NTE INEN 488	-	-	-	-	64
Contracción por secado, % máximo	NTE INEN 2504	-	-	-	-	0,15
Expansión en mortero, %máximo	NTE INEN 867					
14 días		0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
8 semanas		0,060	0,060	0,060	0,060	0,060
Resistencia a los sulfatos, % máximo:	NTE INEN 2503					
Expansión a 180 días		0,10	0,10	0,05	-	0,10
Expansión a 1 año		-	-	0,10	-	-

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización. [15]

1.1.4 Ensayos de caracterización del cemento Tipo IP

1.1.4.1 Densidad real del cemento

Para el cálculo de la densidad real del cemento se utilizará la norma NTE INEN 156, la cual indica que la densidad real del cemento consiste en establecer la relación que existe entre una masa de cemento y el volumen del líquido reactivo que se desplaza en el frasco de Le Chatelier [16].

1.1.4.1.1.1 Áridos o agregados

Son fragmentos rocosos que provienen de la disgregación natural de las rocas, entre los más utilizados para el hormigón simple se encuentran:

- *El agregado fino*

Es aquel que está formado por partículas finas menores a 5mm y es empleado para la elaboración de hormigón, mampostería y rellenar espacios huecos. Dentro de este apartado existen diferentes tipos de arena, las más comunes son la arena de río y las provenientes de la trituración de granitos, basalto y rocas análogas [17].

- *El agregado grueso*

Esta constituido en su gran mayoría por grava o ripio o una mezcla de estos, siendo considerado un árido grueso las fracciones mayores a 5mm. La resistencia al hormigón al estar estrechamente ligada con la densidad, dureza, módulo de elasticidad y su calidad es aconsejable que el agregado esté libre de material vegetal y exceso de partículas alargadas y planas [18].

1.1.5 Ensayos de los agregados del hormigón

1.1.5.1 Granulometría de los agregados

El ensayo granulométrico de los agregados finos y gruesos por tamizado tiene la finalidad de determinar las dimensiones óptimas de los agregados para ser utilizados como componentes del hormigón.

1.1.5.1.1 Ensayo Granulométrico del Agregado Fino

El ensayo granulométrico del agregado fino se rige a lo establecido en la Norma NTE INEN 696, la cual indica que la cantidad mínima de muestra para este tipo de agregado

será de 300 gramos, dicha muestra será sometido a una agitación en una tamizadora mecánica con un tiempo necesario de 5 minutos registrando el material que se queda retenido en cada uno de los tamices y el material pétreo debe estar seco [19].

Según la Norma NTE INEN 872 [20], el árido fino para ser un componente óptimo en el hormigón debe encontrarse libre de cualquier sustancia orgánica y perjudicial que pueda afectar directamente en las propiedades del concreto y su graduación debe estar dentro de los siguientes límites.

Tabla 5: Límites Granulométricos para Agregado Fino [20].

Tamiz		Porcentaje que pasa
ASTM	INEN	
3/8"	9,5 mm	100
N° 4	4,75 mm	95 a 100
N° 8	2,36 mm	80 a 100
N° 16	1,18 mm	50 a 85
N° 30	600 µm	25 a 60
N° 50	300 µm	5 a 30
N° 100	150 µm	0 a 10
N° 200	75 µm	0

Fuente: NTE INEN 872.

El módulo de finura para el agregado fino se lo calcula como el cociente entre la sumatoria de los porcentajes retenidos acumulados de los tamices y 100, este resultado no debe ser menor que 2,30 ni mayor a 3,10 para que el árido fino sea óptimo para utilizarlo en la fabricación del hormigón. [20]

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Retenidos acumulados}}{100}$$

1.1.5.1.2 Ensayo Granulométrico del Agregado Grueso

El ensayo granulométrico del agregado grueso se rige a la Norma NTE INEN 696, la cual indica que la cantidad mínima de muestra para un árido grueso de tamaño nominal 19,0 mm será de 5 Kg, cabe señalar que el material antes de ser ensayado debe estar libre de cualquier tipo de humedad [19].

Al igual que los agregados finos su granulometría se basa en la Norma NTE INEN 872, que presenta los límites de su graduación para este tamaño nominal de partícula y declara que el árido debe estar libre de toda sustancia orgánica y perjudicial [20].

Tabla 6: Límites Granulométricos para Agregado Grueso [20].

Tamiz		Porcentaje que pasa
ASTM	INEN	
1"	25 mm	100
3/4"	10 mm	90 a 100
1/2"	12,5 mm	-
3/8"	9,5 mm	20 a 55
N° 4	4,75 µm	0 a 10
N° 8	2,36 mm	0 a 5
N° 16	1,18 mm	-

Fuente: NTE INEN 872.

1.1.5.2 Densidad aparente compactada de los agregados

La densidad aparente de los agregados en condición compactada se rige a la Norma NTE INEN 858, la cual señala que el tamaño máximo nominal que tendrá el árido es de 125 mm, este ensayo también permite determinar el porcentaje vacíos que se encuentra presente entre las partículas; el procedimiento por varillado es el método más utilizado para obtener la densidad aparente en Kg/cm³ [21].

La densidad aparente de los agregados se la obtiene como el cociente entre la masa del material y el volumen que ocupa el mismo.

$$DA = \frac{(Masa\ del\ recipiente + Masa\ de\ la\ muestra) - Masa\ del\ recipiente}{Volumen\ del\ recipiente}$$

1.1.5.3 Densidad real y capacidad de absorción de los agregados

La densidad real y la capacidad de absorción de los áridos se rigen a las normativas NTE INEN 856 para los áridos finos y NTE INEN 857 para los áridos gruesos, en dichos documentos se expresa que este tipo de ensayo es realizado para determinar la densidad de la parte sólida de las partículas del agregado fino y/o grueso sin incluir el volumen de vacíos que se pueden presentar en los dos distintos tipos de agregado [22].

Por otra parte, la capacidad de absorción se la define como la comparación de la condición seca de los áridos y las variaciones en la masa de un árido como consecuencia de la absorción de agua por los poros de las partículas [23].

1.1.5.4 Contenido de humedad de los agregados

El contenido de humedad presente en los agregados permite ajustar las cantidades de los componentes áridos del hormigón, dicho porcentaje se lo obtiene mediante el secado al horno de una muestra de la masa hasta que se elimine la humedad del árido en su totalidad, es decir el método mide la cantidad de humedad que existe en una muestra de áridos [24].

El contenido de humedad de los agregados se lo obtiene mediante la relación:

$$P = \frac{100 * (W - D)}{D}$$

Donde participa la masa de la muestra de árido en estado natural (W) y la masa de la muestra secada al horno (D) ambas en gramos.

1.1.5.4.1.1 Agua de amasado

Este elemento es de vital importancia en el hormigón puesto que cumple una doble función, la primera es la hidratación del cemento y la segunda es permitir la trabajabilidad adecuada que se requiera en obra. Sin embargo, se debe considerar trabajar únicamente con la cantidad necesaria, debido a que el exceso de agua puede disminuir sustancialmente la resistencia final del hormigón al evaporarse y crear huecos, mientras que su disminución excesiva puede reducir su trabajabilidad.

1.1.5.4.1.2 Agua de curado

El principal objetivo de este elemento es impedir una retracción prematura, hidratar el cemento y evitar la desecación, todo esto durante el proceso de fraguado y el primer endurecimiento del hormigón. La aplicación del agua de curado debe ser más cuidadosa que la de amasado debido a que las aportaciones de sustancias perjudiciales son más amplias en esta etapa [9].

1.1.6 Fibras de caucho

1.1.6.1 El caucho

El caucho en sus inicios al ser originario de un árbol que se encontraba en las cuencas del río Amazonas en Sudamérica y al hallarse en auge la vulcanización, provocó que norteamericanos y europeos exploten de manera deliberada dicho árbol para extraer su leche, años después se demostró que se puede obtener caucho como derivado del petróleo; actualmente la mayor parte de las llantas que son fabricadas nacen a partir de este elemento, convirtiéndose en una problemática social la deposición final y sus componentes afectan al medio ambiente. [25]

1.1.6.2 Propiedades del caucho de llantas

Según las especificaciones que detallan los fabricantes de neumáticos en los que se detalla su composición, los elementos más usados se detallan a continuación, así como las principales propiedades que los caracterizan.

Tabla 7: Propiedades del caucho de neumáticos [26].

Elastómero	Propiedades
Caucho Natural (Poliisopreno)	<ul style="list-style-type: none">• Excelentes propiedades mecánicas, tracción, flexión y compresión.
Polibutadieno	<ul style="list-style-type: none">• Excelente aislante eléctrico, muy buena resistencia a los ácidos diluidos y detergentes.• Buena adhesión a tejidos y metales.
Estireno Butadieno (SBR)	<ul style="list-style-type: none">• Muy buenas propiedades mecánicas.• Resistente al envejecimiento por calor y oxidación.• Buena resistencia a los ácidos diluidos.

Fuente: Tesis de Maestría – Cardona L. & Sánchez L. [26]

1.1.6.3 Reciclaje del caucho

A nivel mundial la contaminación causada por el caucho ha sido un tema de gran preocupación para el medio ambiente debido a los daños nocivos que ocasiona al ser un material de difícil degradación, es por este motivo que muchos países tanto desarrollados como en vías de desarrollo han intentado buscar alternativas o procesos que permitan reciclar los neumáticos y darles un nuevo uso ya que del 60 al 70% de contaminación provienen de estos.

Existen varias formas de transformar estos elementos en partículas a los que se puede dar un nuevo uso, como las que se detallan a continuación:

- Des vulcanización: Es una tecnología de regeneración que consiste en la rotura de los enlaces del polvo de caucho y se lo puede realizar mediante dos procesos, ya sea por procesos físicos o procesos químicos.
- Molienda: Mediante este tipo de proceso se puede triturar los neumáticos fuera de uso obteniendo diferentes tamaños de partículas de acuerdo a la aplicación que se requiera [26].

1.1.7 Elaboración de las probetas de ensayo

1.1.7.1 Dosificación

En la actualidad existen diferentes métodos para establecer las proporciones de cada uno de los componentes del hormigón, la mayoría de ellos son basados en la experiencia personal o en tablas empíricas, un ejemplo es el método de diseño de mezclas del ACI, el cual está basado en el uso de tablas desarrolladas empíricamente que permiten establecer la dosificación a utilizarse para determinada resistencia a la compresión requerida, sin embargo dicho método no es el más idóneo para ser utilizado en el país pues los agregados pétreos utilizados en EEUU y en Ecuador difieren tanto en características como en calidad.

El método desarrollado y utilizado por la Universidad Central mejor conocido como el método de la densidad óptima, es la técnica más utilizada en el país por los buenos resultados que se obtienen, este procedimiento se fundamenta en el uso de las densidades aparentes de los agregados, densidad real del cemento y densidad óptima de la mezcla de agregados. [27]

1.1.7.2 Fraguado

Es la reacción química que se produce entre el cemento y el agua que provoca el endurecimiento del hormigón, por tal motivo se deben conservar en lugares aislados del sol para evitar la evaporación prematura del agua de amasado durante 24 horas.

1.1.7.3 Curado

Posterior a las 24 horas, las probetas son desmoldadas e introducidas en una cámara de curado, la cual mantiene la humedad del hormigón, de esta manera continua la reacción química, esta continuidad permite mejorar la durabilidad, resistencia mecánica, estabilidad volumétrica, resistencia al desgaste e impermeabilidad, por esta razón se recomienda que el agua oscile en una temperatura entre 22°C a 24°C y la misma sea potable [9].

1.1.8 Ensayo de compresión

Este es un método de ensayo que consiste en la aplicación de una carga axial de compresión a los cilindros moldeado de cemento hidráulico a una velocidad que se encuentra establecida dentro de un rango definido hasta que ocurra la falla del espécimen, esta resistencia se calcula al dividir la carga máxima alcanzada durante el ensayo para el área de la sección transversal del espécimen. [28]

Ilustración 1: Ensayo a compresión

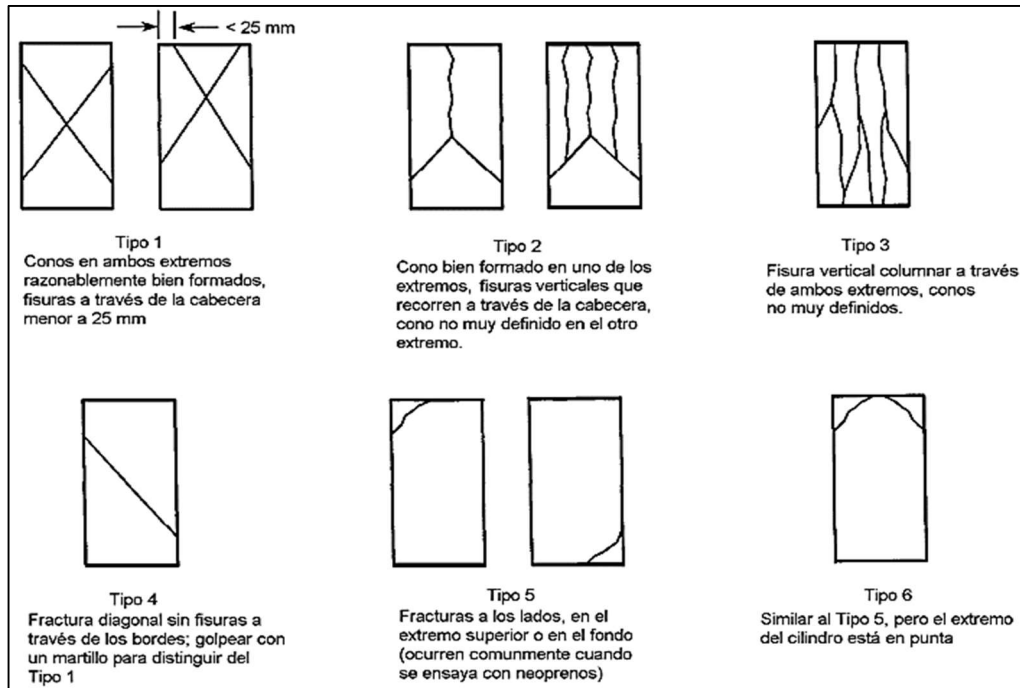


Fuente: Tesis de Maestría – Cardona L. & Sánchez L. [26]

1.1.8.1 Tipos de fallas en los cilindros de hormigón dentro de los ensayos

Al aplicar la carga de compresión los cilindros de hormigón muestran un patrón de fractura bien definido, los diferentes tipos de falla se detallan a continuación:

Ilustración 2: Tipos de fallas en los cilindros de hormigón



Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización. [28].

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Comparar el hormigón simple y el hormigón con fibras de caucho reciclado de neumáticos como reemplazo parcial del agregado fino mediante probetas de ensayo para la determinación de su resistencia a la compresión.

1.2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Determinar la variación del peso entre las probetas de ensayo con fibras de caucho en reemplazo parcial del agregado fino y las probetas del hormigón normal.
- ✓ Identificar los mecanismos de falla presentes en los diferentes tipos de concreto.
- ✓ Evaluar la resistencia a la compresión de las probetas con y sin fibras de caucho en reemplazo parcial del agregado fino.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

1.3 Diseño de la investigación

1.3.1 Diseño Experimental

Para Hernández, Fernández & Baptista [29] en su libro “Metodología de la Investigación”, el diseño experimental no es más que la manipulación de las variables en su ambiente natural, es decir que, el objetivo principal de este diseño siempre será el realismo, debido a que aquí se identifica y analiza el efecto producido por una causa dentro de un estudio o experimento para comprobar una teoría o hipótesis.

A partir de los análisis y ensayos realizados a cada uno de los componentes del hormigón, es decir las propiedades y calidad de los agregados finos y gruesos y del cemento afectarán directamente al concreto que se va a diseñar, por consiguiente, se plantea determinar la dosificación adecuada con y sin fibras de caucho para obtener una resistencia a la compresión de 210 Kg/cm² con la utilización del método de la densidad óptima.

1.3.2 Enfoque Cuantitativo

Los autores [29] señala que el enfoque cuantitativo utiliza un conjunto de procesos de manera ordenada, es decir que sus fases o etapas no pueden saltarse pasos, este enfoque inicia con una idea que a su vez genera una hipótesis de esto se derivan los objetivos y preguntas de investigación y pasa a una revisión literaria construyéndose el marco teórico; de las preguntas de la hipótesis se determinan las variables que pasan a ser parte de un diseño experimental donde se medirán las variables en un determinado contexto para posteriormente analizar las mediciones obtenidas y como parte final llegar a un resultado y conclusión.

1.3.3 Método Experimental

Según Behar [30] en su libro “Metodología de la Investigación” sostiene que la metodología experimental se basa en la manipulación directa o indirecta de las variables con la finalidad de crear las condiciones adecuadas que permitan observar los fenómenos, es así como el método inicia con la creación de una hipótesis para pasar

al diseño del experimento, el cual consiste en la reproducción fidedigna del objeto a estudiar teniendo control del fenómeno para probar la validez de la hipótesis.

Mediante la creación de cilindros con fibras de caucho provenientes de neumáticos reciclados como reemplazo parcial de agregado fino se busca determinar la variación que tendrá la resistencia a la compresión del hormigón al sustituir en diferentes porcentajes la cantidad de fibras de caucho en la dosificación del hormigón con la finalidad de comparar su resistencia a la compresión con un hormigón simple.

1.4 Población y muestra

1.4.1 Población

Se elaboran una cantidad de 3 cilindros para cada edad del espécimen a ser ensayada, es decir para los 7, 14, 21 y 28 días en un total de 12 cilindros de hormigón para cada porcentaje de reemplazo de agregado fino con fibras de caucho de neumáticos, teniendo en cuenta que en caso de no cumplir con la resistencia de 210 Kg/cm^2 para la cual se diseñó se procederá a realizar las modificaciones pertinentes para crear especímenes a ser ensayados nuevamente.

1.4.2 Muestra

En la Tabla 8 se detalla la cantidad de probetas a diseñarse para su respectivo ensayo a los 7, 14 y 28 días con diferentes dosificaciones.

Según Farfán y Leonardo en su investigación con el tema: “Caucho reciclado en la resistencia a la compresión y flexión de concreto modificado con aditivo plastificante” afirma que el porcentaje máximo a utilizar de reemplazo del agregado fino por el caucho reciclado es del 25% debido a que si pasa de este porcentaje existe un efecto inverso en la resistencia del hormigón provocando su disminución, por esta razón para el trabajo de investigación se utilizará el 5% y 10% de reemplazo de agregado fino por caucho.

Por otra parte, se utilizará un 2% de aditivo plastificante por peso del cemento debido a su capacidad de mejorar la trabajabilidad del hormigón y el incremento de la resistencia inicial y final.

Tabla 8: Cuadro de experimentos

% Fibras de caucho	Número de especímenes por edad				Total
	7 días	14 días	21 días	28 días	
0	3	3	3	3	12
5% de reemplazo	3	3	3	3	12
10% de reemplazo	3	3	3	3	12
5% de adición + 2% de aditivo plastificante	3	3	3	3	12
10% de adición + 2% de aditivo plastificante	3	3	3	3	12
Total de especímenes a ensayar					36

Fuente: Elaboración propia


1.4.3 Hipótesis

Para el desarrollo de esta investigación se propone la siguiente hipótesis: ¿Cómo la elaboración de hormigón con residuos de caucho ayuda en la deposición final de los residuos de este material y a su vez afecta a la resistencia a la compresión del hormigón?

1.5 Materiales y Equipos

1.5.1 Materiales

Tabla 9: Materiales utilizados en investigación.

<p>CEMENTO TIPO IP</p> 	<p>Es el cemento hidráulico compuesto de mayor uso en las construcciones por su buena trabajabilidad y alto desempeño, cuya composición radica básicamente en la mezcla de Clinker, sulfato de calcio y adiciones minerales, cumpliendo a cabalidad la resistencia y durabilidad propuestas en la norma NTE INEN 490. [31]</p>
---	--

<p style="text-align: center;">AGREGADO FINO</p> 	<p>Está elaborado por arena natural, arena elaborada o una combinación de ellas, por su tamaño pasa por el tamiz #4 (4,75mm) y con un tamaño mínimo que quede retenido en el tamiz #200 (75 micras), este material debe estar libre de impurezas orgánicas [32].</p>
<p style="text-align: center;">AGREGADO GRUESO</p> 	<p>Consiste en la grava, grava triturada, piedra triturada o una combinación de estos elementos, que por su tamaño queda retenido en el tamiz #4 (4,75mm) y debe cumplir con la norma NTE INEN 872 para su uso en el hormigón.</p>
<p style="text-align: center;">AGUA POTABLE</p> 	<p>Es un líquido incoloro, inodoro e insípido que no debe contener sustancias en suspensión o disueltas que puedan afectar al fraguado del hormigón [33].</p>
<p style="text-align: center;">FIBRAS DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS</p> 	<p>Es un material que se obtiene principalmente como derivado del petróleo mediante un proceso de vulcanización, está compuesto por poli isopreno, polibutadieno y estireno butadieno; estos componentes le otorgan buenas propiedades mecánicas y resistencia al envejecimiento y oxidación [34].</p> <p>Las fibras a utilizar en este proyecto se encuentran en un rango de 2 a 4 mm y pasan por el tamiz #4 ya que a partir de este tamaño son consideradas partículas finas.</p>



<p style="text-align: center;">PLASTIFICANTE PARA HORMIGÓN SIKA PLASTOCRETE 161 HE 4KG</p> 	<p>Es un aditivo para hormigón usado en la construcción, tiene consistencia líquida y color ámbar oscuro cuya densidad es de $1,10\text{kg}/\text{dm}^3$, es un producto que permite un rápido desencofrado e incremento de trabajabilidad de la mezcla. Además, este tipo de aditivo reduce la cantidad de agua y cemento sin afectar la resistencia del producto final. [35]</p>
---	---






Fuente: Elaboración Propia

1.5.2 Equipos













Los equipos necesarios que se utilizarán durante todo el proceso de los ensayos y elaboración de cilindros de hormigón se detallan a continuación:

Tabla 10: Equipos necesarios para la investigación.

EQUIPOS PRINCIPALES	
<p style="text-align: center;">FRASCO LE CHATELIER</p> 	<p>El frasco de Le Chatelier es utilizado para determinar la densidad del cemento hidráulico, escoria granulada agregados de relleno, cal y ceniza volante. Tiene capacidad de hasta 250 ml y su cuello está graduado de 0-1ml y de 18-24ml con división de 0,1ml.</p>
<p style="text-align: center;">BAÑO DE MARÍA</p> 	<p>El Baño de María es un equipo de laboratorio parecido a un jacuzzi con tapa, contiene agua caliente y es usado para ensayos de densidad y tamaños de partículas ya que permite incubar muestras en agua a una temperatura constante durante un buen periodo de</p>

	<p>tiempo. Además, contiene una interfaz digital que permite su control ya que se puede establecer la temperatura según la aplicación que se desea hasta un límite de 99,9°C.</p>	
<p>MÁQUINA DE COMPRESIÓN</p> 	<p>Máquina de compresión marca Shimadzu, este equipo es usado para ensayos de cilindros de hormigón, bloques, ladrillos, adoquines, etc. mediante probetas; básicamente lo que hace esta máquina es ejercer una fuerza sobre una muestra hasta que se rompa y así determinar el porcentaje de resistencia máxima que es capaz de soportar.</p>	
<p>TANQUE DE CURADO</p> 	<p>Están diseñados para curar cilindros o cubos de concreto, su temperatura puede mantenerse constantemente gracias a una resistencia eléctrica con regulador digital que permite lograr una temperatura fija a 40°C con 2°C de exactitud aproximadamente.</p>	
<p>EQUIPOS SECUNDARIOS</p>		
<p>Balanza análoga 100 Kg</p>	<p>Horno eléctrico</p>	<p>Cono de Abrams</p>
		

<p>Tamizadora eléctrica</p>	<p>Juego de tamices metálicos redondos (2", 1 ½", 1", ¾", 3/8", ½", #4)</p>	<p>Juego de tamices metálicos redondos (#4, #8, #16, #30, #50, #100, #200)</p>
		
<p>Balanza de capacidad 30 Kg, con precisión de 1g</p>	<p>Balanza de 6 Kg, con precisión de 1g</p>	<p>Molde metálico cilíndrico de 100x200 mm para muestras</p>
		
<p>Molde metálico de 22 lts.</p>	<p>Carretilla</p>	<p>Concretera</p>
		
<p>Bandejas metálicas para secado de muestras</p>	<p>Varilla compactación punta redonda 16mm</p>	<p>Martillo de goma de 300gr</p>

		
Picnómetro	Pipeta	Embudo
		
Pala	Pala de mano	Palustre
		
Recipientes	Mandil y guantes	Flexómetro
		

Fuente: Elaboración Propia

1.6 Ensayo de componentes del hormigón

1.6.1 Características del cemento tipo IP

1.6.1.1 Densidad real del cemento tipo IP

El ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico se basa en la relación entre una masa de cemento y el volumen del líquido no reactivo que desplaza, siguiendo los lineamientos presentes en la norma ecuatoriana NTE INEN 156. [16]

El procedimiento a seguir según la normativa ecuatoriana vigente es el siguiente:

- 1) Pesar 64 gramos con una aproximación de 0,05 g para cemento portland.
- 2) Llenar el frasco con el líquido reactivo (gasolina) hasta un punto entre las marcas de 0 y 1 mL que equivalen a 0 y 1 cm³, respectivamente.
- 3) Registrar la lectura inicial del frasco Le Chatelier más la gasolina en cm³, después de haber sido sumergido en un baño de agua a $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- 4) Introducir el cemento en pequeños incrementos, evitando que el cemento se adhiera en las paredes del frasco.
- 5) Registrar el peso de la masa del cemento, más la gasolina y el frasco.
- 6) Girar suavemente el frasco en círculos hasta liberar el aire del líquido de manera que no suban burbujas de aire a la superficie del líquido.
- 7) Sumergir el frasco en baño de agua a una temperatura constante, evitando una variación de temperatura mayor a $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ entre la lectura inicial y final.
- 8) Registrar el volumen final en cm³.

1.6.2 Características de los Agregados

1.6.2.1 Granulometría del agregado grueso

El ensayo para determinar la granulometría del agregado grueso se basa en el porcentaje de partículas retenidas en los tamices de 1", 3/4", 1/2", 3/8", #4 y #8, en consideración a lo dispuesto en la norma NTE INEN 696. [19]

El procedimiento a realizarse es el siguiente:

- 1) Pesar un tamaño de muestra de agregado grueso entre 5 y 10 Kg.
- 2) Secar la muestra a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- 3) Seleccionar los tamices necesarios y ordenarlos de forma decreciente.
- 4) Colocar la muestra en el tamiz superior.

- 5) Agitar los tamices manualmente o con ayuda de un aparato mecánico durante un tiempo conveniente.
- 6) Registrar el peso de las partículas retenidas en cada tamiz.

1.6.2.2 Granulometría del agregado fino

El agregado fino para ser apto para la elaboración de hormigón debe regirse a la norma NTE INEN 696, cuyas partículas deben pasar por los tamices 3/8", #4, #8, #16, #30, #50, #100 y #200. [19]

Se realiza el siguiente procedimiento para su determinación:

- 1) Pesar un tamaño de muestra de agregado fino mínimo de 300 gr.
- 2) Secar la muestra a una temperatura de $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$.
- 3) Seleccionar los tamices correspondientes al ensayo del agregado fino y ordenarlos.
- 4) Colocar la muestra en el tamiz superior.
- 5) Agitar los tamices con la ayuda de un equipo mecánico durante 5 minutos como tiempo adecuado.
- 6) Registrar el peso de las partículas retenidas en cada tamiz.

1.6.2.3 Densidad aparente suelta de los agregados

Este ensayo es aplicable a los áridos con un tamaño máximo nominal de 125 mm, con la finalidad de determinar el valor de masa unitaria necesaria para la selección de las dosificaciones en la elaboración de hormigón, de acuerdo a lo presentado en la norma NTE INEN 858. [21]

- 1) Tomar una muestra separada del árido fino y árido grueso.
- 2) Registrar el peso del recipiente y las dimensiones para el cálculo respectivo del volumen.
- 3) Llenar el recipiente en su totalidad con el agregado.
- 4) Enrazar el agregado presente en el recipiente.
- 5) Registrar el peso del recipiente más el agregado.

1.6.2.4 Densidad aparente compactada de los agregados

Este ensayo, al igual que el de la densidad aparente suelta, se basa en los mismos parámetros y toma en consideración lo expuesto en la norma NTE INEN 858. [21]

El procedimiento a realizarse es el siguiente:

- 1) Tomar una muestra separa de los agregados.
- 2) Registrar el peso vacío del recipiente y calcular el volumen con sus dimensiones.
- 3) Llenar el recipiente en su totalidad con el agregado en tres capas, en cada capa se debe dar 25 golpes aleatoriamente con una varilla de compactación, evitando que la varilla de compactación penetre en la capa inferior.
- 4) Enrazar el agregado presente en el recipiente.
- 5) Registrar el peso del recipiente más el agregado.

1.6.2.5 Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino

El ensayo se basa en lo establecido en la norma NTE INEN 856, la cual es utilizada para la determinación de la densidad promedio en una muestra de árido fino y la absorción del agregado. [22]

El método de ensayo es el siguiente:

- 1) Colocar la muestra en un recipiente y secarlo en el horno a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- 2) Cubrir con agua por encima del nivel del árido fino por un período de $24\text{ h} \pm 4\text{ h}$.
- 3) Retirar el exceso de agua y dejar secar con movimientos frecuentes para un secado homogéneo.
- 4) Verificar si el árido esta superficialmente seco, mediante el ensayo del cono truncado.
- 5) Llenar el picnómetro hasta su punto de calibración y registrar su peso.
- 6) Llenar el picnómetro hasta el 90% de su capacidad, a continuación, agregar el agregado fino y terminar de llenar el picnómetro hasta su punto de calibración
- 7) Rodar el picnómetro para eliminar las burbujas visibles de aire.
- 8) Registrar el peso del picnómetro más el agua y el agregado fino.
- 9) Pasar el contenido del picnómetro a un recipiente y registrar su peso.
- 10) Secar la muestra en el horno a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, posteriormente dejarlo enfriar a temperatura ambiente por $1\text{ h} \pm \frac{1}{2}\text{ h}$.
- 11) Registrar el peso del recipiente más la masa del agregado fino seco.

1.6.2.6 Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso

El ensayo tiene su fundamento en la norma NTE INEN 857, la cual es utilizada para la determinación de la densidad promedio de una muestra de árido grueso, sin incluir el volumen de vacíos presente entre las partículas del árido y la capacidad de absorción del agregado [23]

Para el ensayo de la densidad se realiza el siguiente procedimiento:

- 1) Tamizar la muestra de agregado grueso y el material retenido en el Tamiz #4 depositarlo en un recipiente.
- 2) Lavar la muestra de agregado fino para su limpieza de toda partícula fina de su superficie.
- 3) Colocar la muestra en un recipiente y secarlo en el horno a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- 4) Sumergir en agua el agregado grueso por un período de $24\text{ h} \pm 4\text{ h}$.
- 5) Retirar la muestra de agua, colocarlo sobre un paño absorbente y frotarlo con el mismo hasta eliminar la película de agua de la superficie del agregado.
- 6) Registrar el peso de la canastilla vacía en el aire y en el agua.
- 7) Llenar el contenedor con la muestra y registrar su peso en el aire.
- 8) Sumergir la canastilla más la muestra en agua y remover el aire atrapado con unos giros de la canastilla y registrar su peso.
- 9) Pasar el contenido de la canastilla a un recipiente y registrar su peso.
- 10) Secar la muestra en el horno a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, posteriormente dejarlo enfriar a temperatura ambiente por $1\text{ h} \pm \frac{1}{2}\text{ h}$.
- 11) Registrar el peso del recipiente más la masa del agregado fino seco.

1.7 Dosificación del Hormigón

1.7.1 Método de la densidad óptima

Este método se basa en la utilización de áridos finos y gruesos bien graduados que en su combinación dejen el menor porcentaje de vacíos, de esta manera será necesario utilizar una cantidad mínima de pasta para obtener un hormigón de buena calidad ahorrando recursos materiales.

Para dosificar el hormigón por este método se utiliza la siguiente metodología:

- a) Determinar la relación agua cemento (w/c) de acuerdo a la resistencia a la compresión requerida a los 28 días.
- b) Calcular la densidad real de la mezcla de los agregados.
- c) Determinar el porcentaje óptimo de vacíos.
- d) Calcular la cantidad de pasta de cemento de acuerdo al asentamiento requerido.
- e) Calcular las cantidades por m³ de cemento, agua, arena y ripio.
- f) Realizar una tabla y dividir las cantidades calculadas anteriormente para la cantidad de cemento y determinar la dosificación tanto al peso como al volumen.
- g) Calcular la cantidad de hormigón necesario para el número de probetas que se requiere, realizando la corrección por humedad de los agregados.

1.7.2 Datos preliminares para dosificación

Tabla 11: Datos preliminares para dosificación según el método de la densidad óptima.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
<i>DOSIFICACIÓN MÉTODO DE LA DENSIDAD ÓPTIMA</i>			
ENSAYADO POR:	ALEXIS LEÓN MERINO	FECHA:	22/12/2022
DATO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR
DRC	DENSIDAD REAL DEL CEMENTO	gr/cm³	2.860
DRA	DENSIDAD REAL DE LA ARENA	gr/cm³	2.551
DRR	DENSIDAD REAL DEL RIPIO	gr/cm³	2.634
DAS	DENSIDAD APARENTE DE LA ARENA SUELTA	kg/dm³	1.537
DRS	DENSIDAD APARENTE DEL RIPIO SUELTO	kg/dm³	1.382
DAC	DENSIDAD APARENTE DE LA ARENA COMPACTADA	kg/dm³	1.634
DRC	DENSIDAD APARENTE DEL RIPIO COMPACTADO	kg/dm³	1.439
MFA	MÓDULO DE FINURA DE LA ARENA	-	2.700
POA	PORCENTAJE ÓPTIMO DE ARENA	%	37.000
POR	PORCENTAJE ÓPTIMO DE RIPIO	%	63.000
DOM	DENSIDAD ÓPTIMA DE LA MEZCLA	kg/dm³	1.839
CAA	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LA ARENA	%	2.615
CAR	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL RIPIO	%	2.295

CHA	CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA ARENA	%	2.668
CHR	CONTENIDO DE HUMEDAD DEL RIPIO	%	1.201

Fuente: Elaboración Propia.

1.7.3 Cálculo de dosificación para $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$

a) *Relación Agua/Cemento [W/C]*

Se determina la relación de agua/cemento para un $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ a los 28 días, según los valores establecidos por el método de la Universidad Central del Ecuador.

Tabla 12: Relación Agua/Cemento en función de resistencia a la compresión a los 28 días.

Resistencia a la compresión a los 28 días en Kg/cm^2 ($f'c$)	Relación Agua/Cemento (W/C)
450	0,37
420	0,40
400	0,42
350	0,46
320	0,50
300	0,51
280	0,52
250	0,55
240	0,56
210	0,58
180	0,60

Fuente: Garzón M., “Seminario de investigación sobre el módulo de elasticidad del hormigón”, Quito, 2010.

b) Densidad Real de la Mezcla de los Agregados

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

$$DRM = \frac{2.551 \frac{gr}{cm^3} * 37\% + 2.634 \frac{gr}{cm^3} * 63\%}{100}$$

$$DRM = 2.603 \frac{gr}{cm^3} = 2.603 \frac{kg}{dm^3}$$

c) Porcentaje óptimo de vacíos

$$POV = \frac{DRM - DOM}{DRM} * 100$$

$$POV = \frac{2.603 \frac{kg}{dm^3} - 1.839 \frac{kg}{dm^3}}{2.603 \frac{kg}{dm^3}} * 100$$

$$POV = 29.359 \%$$

d) Cantidad de pasta

Se determina la cantidad de pasta en base al asentamiento permitido según el tipo de construcción, es así como se toma un valor entre 6-9 cm para elementos estructurales.

Tabla 13: Porcentaje de cantidad de pasta en función del asentamiento.

Asentamiento (cm)	Cantidad de pasta (%)
0 – 3	POV+2%+3%(POV)
3 – 6	POV+2%+6%(POV)
6 – 9	POV+2%+8%(POV)
9 – 12	POV+2%+11%(POV)
12 – 15	POV+2%+13%(POV)

Fuente: Garzón M., “Seminario de investigación sobre el módulo de elasticidad del hormigón”, Quito, 2010.

$$CP(\%) = POV + 2\% + 8\%(POV)$$

$$CP(\%) = 29.359\% + 2\% + 0.08(29.359)$$

$$CP(\%) = 33.707\%$$

$$CP = \frac{33.707}{100} * 1000 \text{ dm}^3$$

$$CP = 337.073 \text{ dm}^3$$

e) Cantidad de cemento para 1 m³ de hormigón.

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

$$C = \frac{337.073 \text{ dm}^3}{0.58 + \frac{1}{2.860 \text{ kg/dm}^3}}$$

$$C = 362.580 \text{ kg}$$

f) Cantidad de agua para 1 m³ de hormigón.

$$W = \frac{W}{C} * C$$

$$W = 0.58 * 362.580 \text{ kg}$$

$$W = 210.297 \text{ lts}$$

g) Cantidad de arena para 1 m³ de hormigón.

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

$$A = (100 - 337.073 \text{ dm}^3) * \frac{2.551 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} * 37\%}{100}$$

$$A = 625.717 \text{ kg}$$

h) Cantidad de ripio para 1 m³ de hormigón.

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

$$R = (100 - 337.073 \text{ dm}^3) * \frac{2.551 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} * 63\%}{100}$$

$$R = 1100.074 \text{ kg}$$

i) Dosificación al peso

$$X = \frac{\text{Cantidad de material } (W, C, A, R)}{\text{Cantidad de cemento } (C)}$$

$$C = \frac{362.580 \text{ kg}}{362.580 \text{ kg}}$$

$$\text{Cemento} = 1$$

$$W = \frac{210.297 \text{ kg}}{362.580 \text{ kg}}$$

$$W (\text{Agua}) = 0.58$$

$$A = \frac{625.717 \text{ kg}}{362.580 \text{ kg}}$$

$$\text{Arena} = 1.73$$

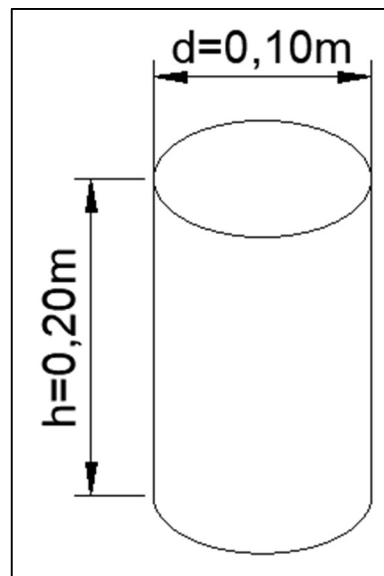
$$R = \frac{1100.074 \text{ kg}}{362.580 \text{ kg}}$$

$$\text{Ripio} = 3.03$$

j) Dosificación para cilindros

Se realiza la dosificación para 12 cilindros, para lo cual se calcula el volumen del cilindro y se multiplica por la cantidad de especímenes requeridos.

Ilustración 3: Esquema de cilindro de hormigón



Fuente: Elaboración Propia

$$V = \frac{\pi * d^2}{4} * h * \#cilindros$$

$$V = \frac{\pi * (0.10m)^2}{4} * 0.20m * 12$$

$$V = 0.0188m^3$$

Para calcular la cantidad de material para el número de especímenes necesarios se realiza una regla de tres de la siguiente manera.

$$X = \frac{\text{Cantidad de cemento}(c)/m^3 * V}{1 m^3}$$

Donde:

$V = \text{Volumen de hormigón para especímenes requeridos}$

Así:

$$X = \frac{362.580 \text{ kg} * 0.0188m^3}{1 m^3}$$

$$X = 6.83 \text{ Kg}$$

Para la dosificación de los materiales se multiplica la cantidad de cemento por su dosificación al peso.

Tabla 14: Dosificación por parada de hormigón.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
Tema: "Análisis comparativo del hormigón simple y el hormigón con fibras de caucho reciclado de neumáticos como reemplazo parcial del agregado fino y su influencia en la resistencia a la compresión"			
DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN F'C=210 kg/cm²			
ENSAYADO POR:	ALEXIS LEÓN MERINO	FECHA:	22/12/2022
VOLUMEN DE HORMIGÓN REQUERIDO POR PARADA			
Volumen de cilindro	0.0016		m³
#Cilindros por parada	12.0000		u
Volumen de hormigón por parada	0.0188		m³
DOSIFICACIÓN AL PESO POR PARADA			
MATERIAL	DOSIFICACIÓN AL PESO	CANTIDAD	UNIDAD
Agua (W)	0.58	3.96	lts
Cemento (C)	1.00	6.83	kg
Arena (A)	1.73	11.79	kg
Ripio (R)	3.03	20.74	kg

Fuente: Elaboración Propia

k) Corrección por humedad

Se realiza la corrección en la dosificación a causa del contenido de humedad presente en los agregados y su capacidad de absorción.

$$CrH_{arena} = A * \left(\frac{CAA - CHA}{100} \right)$$

$$CrH_{arena} = 11.79 \text{ kg} * \left(\frac{2.615 - 2.668}{100} \right)$$

$$CrH_{arena} = -0.006 \text{ kg}$$

$$CrH_{ripio} = R * \left(\frac{CAR - CHR}{100} \right)$$

$$CrH_{ripio} = 20.74 \text{ kg} * \left(\frac{2.295 - 1.201}{100} \right)$$

$$CrH_{ripio} = 0.227 \text{ kg}$$

Tabla 15: Corrección de dosificación por contenido de humedad y capacidad de absorción.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
Tema: "Análisis comparativo del hormigón simple y el hormigón con fibras de caucho reciclado de neumáticos como reemplazo parcial del agregado fino y su influencia en la resistencia a la compresión"								
DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN F'C=210 kg/cm²								
ENSAYADO POR:	ALEXIS LEÓN MERINO					FECHA:	22/12/2022	
DOSIFICACIÓN AL PESO POR PARADA								
MATERIAL	DOSIFICACIÓN AL PESO	CANTIDAD Kg	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN (CA %)	CONTENIDO DE HUMEDAD (CH %)	CORRECCIÓN DE HUMEDAD		CANTIDAD CORREGIDA	UNIDAD
					%	kg		
Agua (W)	0.58	3.96	-	-	-	0.22	4.18	lts
Cemento (C)	1.00	6.83	-	-	-	-	6.83	kg
Arena (A)	1.73	11.79	2.615	2.668	-0.05	-0.01	11.80	kg
Ripio (R)	3.03	20.74	2.295	1.201	1.09	0.23	20.51	kg

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 16: Dosificación para 12 cilindros de Hormigón Simple $f'c=210\text{Kg/cm}^2$.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
Tema: "Análisis comparativo del hormigón simple y el hormigón con fibras de caucho reciclado de neumáticos como reemplazo parcial del agregado fino y su influencia en la resistencia a la compresión"		
DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN F'C=210 kg/cm²		
ENSAYADO POR:	ALEXIS LEÓN MERINO	FECHA: 22/12/2022
VOLUMEN DE HORMIGÓN REQUERIDO POR PARADA		
Volumen de cilindro	0.0016	m³
#Cilindros por parada	12.0000	u
Volumen de hormigón por parada	0.0188	m³
DOSIFICACIÓN AL PESO POR PARADA		
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD
Agua (W)	4.18	lts
Cemento (C)	6.83	kg
Arena (A)	11.80	kg
Ripio (R)	20.51	kg

Fuente: Elaboración Propia

1.7.4 Cálculo de dosificación para $f'c=210\text{ Kg/cm}^2$ con 5% de caucho como reemplazo

Para la dosificación se realiza el reemplazo del 5% del agregado fino por fibras de caucho, para lo cual se realiza el siguiente procedimiento:

$$5\%FC = A * 5\%$$

$$5\%FC = 11.80\text{ Kg} * \frac{5}{100}$$

$$5\%FC = 0.59\text{ Kg}$$

$$A_c = A - A_{5\%}$$

$$A_c = 11.80\text{ Kg} - 0.59\text{ Kg}$$

$$A_c = 11.21\text{ Kg}$$

Tabla 17: Dosificación para 12 cilindros de Hormigón Simple $f'c=210\text{Kg/cm}^2$ con 5% de reemplazo de agregado fino por fibras de caucho.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
Tema: "Análisis comparativo del hormigón simple y el hormigón con fibras de caucho reciclado de neumáticos como reemplazo parcial del agregado fino y su influencia en la resistencia a la compresión"			
DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN $F'C=210\text{ kg/cm}^2$ CON 5% DE REEMPLAZO DE AGREGADO FINO POR FIBRAS DE CAUCHO			
ENSAYADO POR:	ALEXIS LEÓN MERINO	FECHA:	22/12/2022
VOLUMEN DE HORMIGÓN REQUERIDO POR PARADA			
Volumen de cilindro	0.0016		m^3
#Cilindros por parada	12.0000		u
Volumen de hormigón por parada	0.0188		m^3
DOSIFICACIÓN AL PESO POR PARADA			
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	
Agua (W)	4.18	lts	
Cemento (C)	6.83	kg	
Arena (A)	11.21	kg	
Ripio (R)	20.51	kg	
Fibra de Caucho (5%FC)	0.59	kg	

Fuente: Elaboración Propia

1.7.5 Cálculo de dosificación para $f'c=210\text{ Kg/cm}^2$ con 10% de caucho como reemplazo

Para la tercera dosificación se realiza el reemplazo del 10% del agregado fino por fibras de caucho, para lo cual se realiza el siguiente procedimiento:

$$10\%FC = A * 10\%$$

$$10\%FC = 11.80\text{ Kg} * \frac{10}{100}$$

$$10\%FC = 1.18\text{ Kg}$$

$$A_c = A - A_{5\%}$$

$$A_c = 11.80\text{ Kg} - 1.18\text{ Kg}$$

$$A_c = 10.62\text{ Kg}$$

Tabla 18: Dosificación para 12 cilindros de Hormigón Simple $f'c=210\text{Kg/cm}^2$ con 10% de reemplazo de agregado fino por fibras de caucho.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
Tema: "Análisis comparativo del hormigón simple y el hormigón con fibras de caucho reciclado de neumáticos como reemplazo parcial del agregado fino y su influencia en la resistencia a la compresión"			
DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN $F'C=210\text{ kg/cm}^2$ CON 10% DE REEMPLAZO DE AGREGADO FINO POR FIBRAS DE CAUCHO			
ENSAYADO POR:	ALEXIS LEÓN MERINO	FECHA:	22/12/2022
VOLUMEN DE HORMIGÓN REQUERIDO POR PARADA			
Volumen de cilindro	0.0016		m^3
#Cilindros por parada	12.0000		u
Volumen de hormigón por parada	0.0188		m^3
DOSIFICACIÓN AL PESO POR PARADA			
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	
Agua (W)	4.18	lts	
Cemento (C)	6.83	kg	
Arena (A)	10.03	kg	
Ripio (R)	20.51	kg	
Fibra de Caucho (10%FC)	1.18	kg	

Fuente: Elaboración Propia

1.7.6 Cálculo de dosificación para $f'c=210\text{ Kg/cm}^2$ con 5% de caucho adicional con 2% de aditivo plastificante acelerador

Al comprobarse que la resistencia de la primera parada de cilindros con reemplazo parcial de agregado fino por fibras de caucho dio como resultado valores inferiores a los límites establecidos para un hormigón $f'c=210\text{ Kg/cm}^2$, se propone añadir las fibras de caucho sin retirar agregado fino de la dosificación.

El procedimiento a realizar es el siguiente:

- Añadir el 5% de fibras de caucho por peso del hormigón de la parada.
- Añadir el 2% de aditivo plastificante por peso del cemento de la dosificación.

Tabla 19: Dosificación para 12 cilindros de Hormigón Simple $f'c=210\text{Kg/cm}^2$ con 5% de adición de fibras de caucho y 2% de aditivo plastificante.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
Tema: “Análisis comparativo del hormigón simple y el hormigón con fibras de caucho reciclado de neumáticos como reemplazo parcial del agregado fino y su influencia en la resistencia a la compresión”		
DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN $F'C=210\text{ kg/cm}^2$ CON 5% DE ADICIÓN DE FIBRAS DE CAUCHO Y PLASTIFICANTE		
ENSAYADO POR:	ALEXIS LEÓN MERINO	FECHA: 22/12/2022
VOLUMEN DE HORMIGÓN REQUERIDO POR PARADA		
Volumen de cilindro	0.0016	m³
#Cilindros por parada	12.0000	u
Volumen de hormigón por parada	0.0188	m³
Peso de hormigón por parada	43.3289	Kg
DOSIFICACIÓN AL PESO POR PARADA		
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD
Agua (W)	4.18	lts
Cemento ®	6.83	kg
Arena (A)	11.80	kg
Ripio ®	20.51	kg
Fibra de Caucho (5%FC+)	2.17	kg
Plastificante Acelerante (PA2%)	0.14	kg

Fuente: Elaboración Propia

1.7.7 Cálculo de dosificación para $f'c=210\text{ Kg/cm}^2$ con 5% de caucho adicional con 2% de aditivo plastificante acelerador

Tras lo expuesto anteriormente y al igual que la dosificación anterior se propone añadir un 10% de fibras de caucho por peso del hormigón y 2% de aditivo plastificante sin retirar agregado fino de la dosificación.

El procedimiento es el siguiente:

- a) Añadir el 5% de fibras de caucho por peso del hormigón de la parada.
- b) Añadir el 2% de aditivo plastificante por peso del cemento de la dosificación.

Tabla 20: Dosificación para 12 cilindros de Hormigón Simple $f'c=210\text{Kg/cm}^2$ con 10% de adición de fibras de caucho y 2% de aditivo plastificante.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
Tema: "Análisis comparativo del hormigón simple y el hormigón con fibras de caucho reciclado de neumáticos como reemplazo parcial del agregado fino y su influencia en la resistencia a la compresión"		
DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN F'C=210 kg/cm² CON 5% DE ADICIÓN DE FIBRAS DE CAUCHO Y PLASTIFICANTE		
ENSAYADO POR:	ALEXIS LEÓN MERINO	FECHA: 22/12/2022
VOLUMEN DE HORMIGÓN REQUERIDO POR PARADA		
Volumen de cilindro	0.0016	m³
#Cilindros por parada	12.0000	u
Volumen de hormigón por parada	0.0188	m³
Peso de hormigón por parada	43.3289	Kg
DOSIFICACIÓN AL PESO POR PARADA		
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD
Agua (W)	4.18	lts
Cemento (C)	6.83	kg
Arena (A)	11.80	kg
Ripio (R)	20.51	kg
Fibra de Caucho (10%FC+)	4.33	kg
Plastificante Acelerante (PA2%)	0.14	kg

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO III

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

1.8 Ensayos de componentes del hormigón

1.8.1 Determinación de la densidad real del cemento

Tabla 21: Densidad real del cemento tipo IP por el método del picnómetro.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
<i>DENSIDAD REAL DEL CEMENTO</i>					
ENSAYADO POR:	ALEXIS LEÓN MERINO		NORMA:	NTE INEN 156	
TIPO (MARCA):	TIPO IP (SELVA ALEGRE)		MÉTODO:	PICNÓMETRO	
MASA DE LA MUESTRA:	64 gr.		FECHA:	25/11/2022	
DATOS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3
M1	Masa del picnómetro	gr.	152.09	152.12	152.17
M2	Masa del picnómetro + cemento	gr.	216.09	216.12	216.17
M3	Masa del picnómetro + cemento + gasolina	gr.	570.20	570.22	570.18
M4=M3-M2	Masa gasolina añadida	gr.	354.11	354.1	354.01
M5	Masa del picnómetro + 500 cm ³ gasolina	gr.	522.84	522.78	522.82
M6=M5-M1	Masa 500 cm ³ gasolina	gr.	370.75	370.66	370.65
DG=M6/500	Densidad de la gasolina	gr./cm ³	0.742	0.741	0.741
M7=M6-M4	Masa gasolina desalojada por el cemento	gr.	16.64	16.56	16.64
MC = M2 - M1	Masa de cemento	gr.	64.00	64.00	64.00
VG=M7/DG	Volumen de gasolina desalojada	cm ³	22.44	22.34	22.45
DRC=MC/VG	Densidad real del cemento	gr./cm ³	2.852	2.865	2.851
DRPC	Densidad real promedio del cemento	gr./cm ³	2.856		

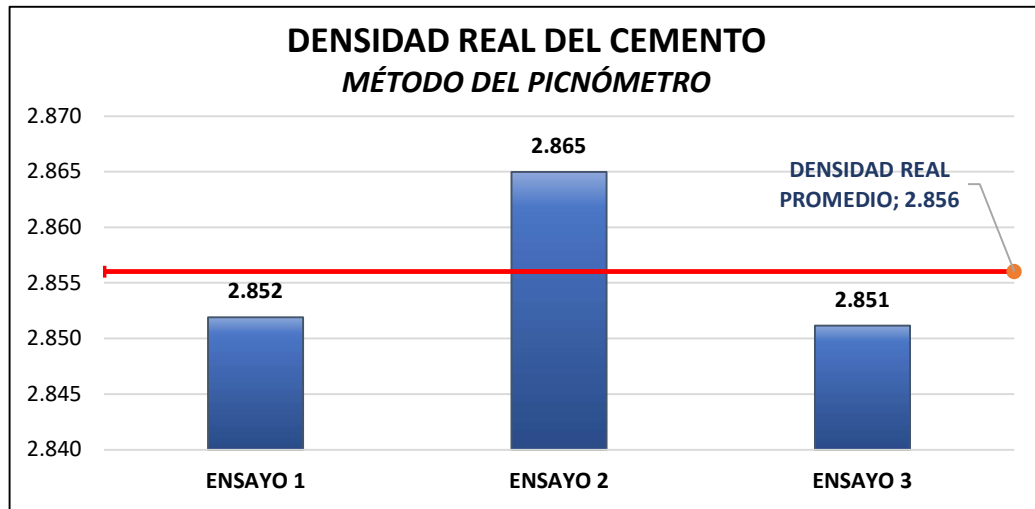
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 22: Densidad real del cemento tipo IP por el método del frasco Le Chatelier.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
<i>DENSIDAD REAL DEL CEMENTO</i>					
ENSAYADO POR:	ALEXIS LEÓN MERINO	NORMA:	NTE INEN 156		
TIPO (MARCA):	TIPO IP (SELVA ALEGRE)	MÉTODO:	FRASCO LE CHATELIER		
MASA DE LA MUESTRA:	64 gr.	FECHA:	25/11/2022		
DATOS	CORRESPONDENCIA	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3
M1	Masa del frasco Le Chatelier + Gasolina	gr.	320.92	320.88	320.86
T1	Temperatura inicial del baño de agua	°C	24	24	24
V1	Volumen inicial del frasco Le Chatelier	cm ³	0.5	0.5	0.5
M2	Masa del frasco Le Chatelier + Gasolina + Cemento	gr.	384.43	384.51	384.44
T2	Temperatura final del baño de agua	°C	24	24	24
V2	Volumen final del frasco Le Chatelier	cm ³	22.76	22.69	22.74
MC=M2-M1	Masa de cemento	gr./cm ³	63.510	63.630	63.580
V=V2-V1	Volumen de gasolina desalojada	cm ³	22.26	22.19	22.24
DRC=MC/V	Densidad real del cemento	gr./cm ³	2.853	2.868	2.859
DRPC	Densidad real promedio del cemento	gr./cm ³	2.860		

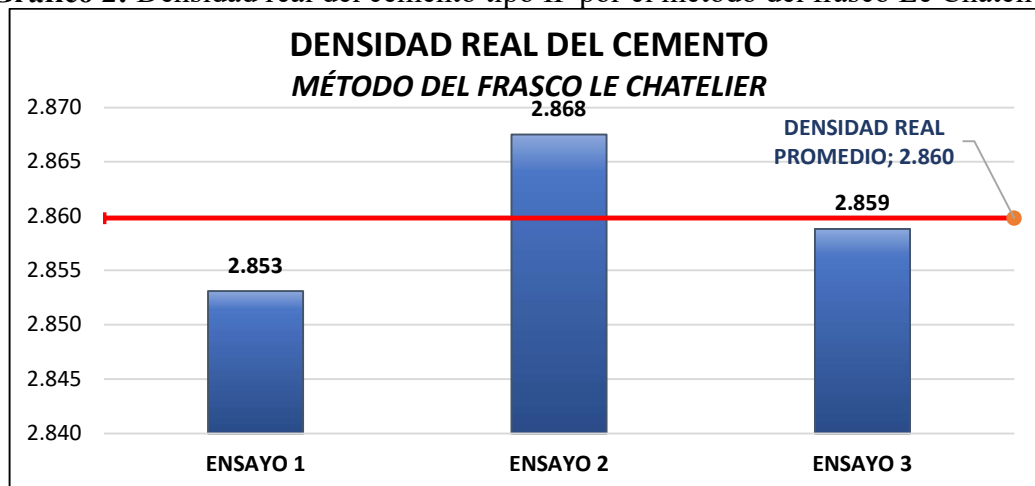
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 1: Densidad real del cemento tipo IP por el método del picnómetro.



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 2: Densidad real del cemento tipo IP por el método del frasco Le Chatelier.



Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico 1 y 2 se observa los valores de la densidad real del cemento tipo IP de la marca Selvalegre obtenidos mediante tres ensayos con el método del frasco de Le Chatelier, según la norma NTE INEN 156, los cuales dieron como resultados 2.853 g/cm³, 2.868 g/cm³ y 2.859 g/cm³, respectivamente, con una varianza establecida en la normativa de 0.03 g/cm³. [16]

El valor promedio de la densidad real del cemento, 2.860 g/cm³, se encuentra próximo al rango de 2.9 g/cm³ a 3.15 g/cm³ establecido para el tipo de cemento Portland, esto se debe a diversos factores que intervienen en la fabricación del producto; por otra parte, el material se encuentra apto para ser utilizado en los ensayos requeridos.

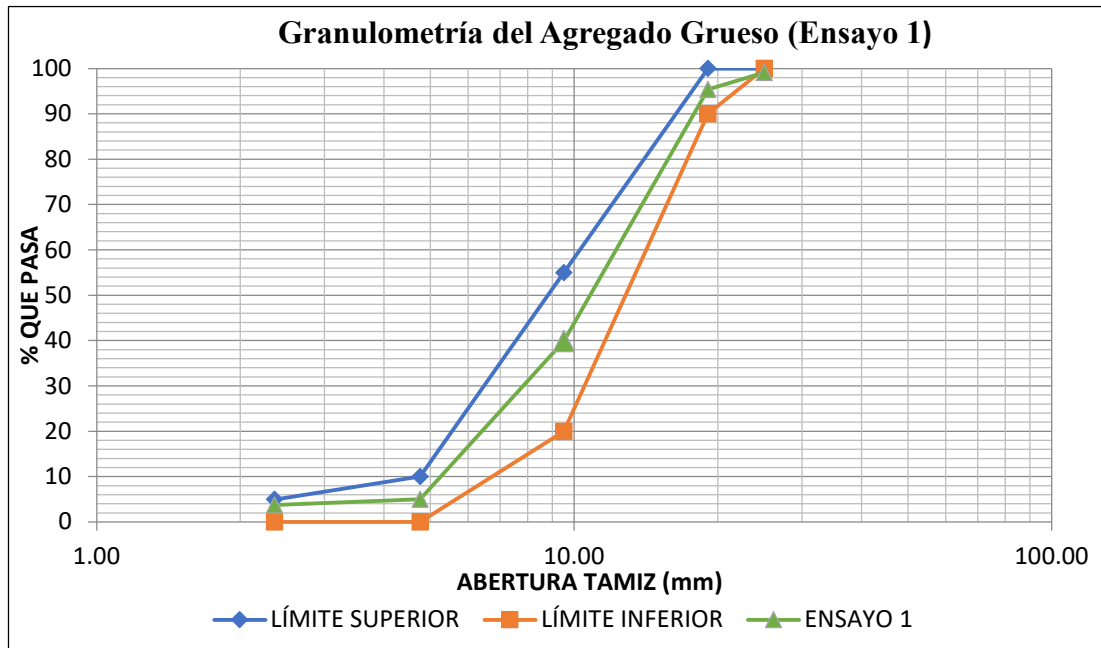
1.8.2 Granulometría del agregado grueso

Tabla 23: Granulometría del agregado grueso ensayo 1.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
<i>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO</i>					
ORIGEN:	LA PENINSULA - AMBATO		NORMA:	NTE INEN 696	
ENSAYADO POR:	ALEXIS LEÓN MERINO		FECHA:	18/11/2022	
PESO DE LA MUESTRA (gr.):	5000		PÉRDIDA DE MUESTRA (%):	0.00%	
Tamiz	Retenido Parcial (gr)	Retenido Acumulado (gr.)	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Límites ASTM % Que Pasa
1"	44.31	44.31	0.89	99.11	100
3/4"	185.81	230.12	4.60	95.40	90 --- 100
1/2"	367.51	597.63	11.95	88.05	-
3/8"	2409.56	3007.19	60.14	39.86	20 --- 55
#4	1741.25	4748.44	94.97	5.03	0 --- 10
#8	63.64	4812.08	96.24	3.76	0 --- 5
BANDEJ A	187.87	4999.95	100.00	0.00	
TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO:			3/4"		

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 3: Granulometría del agregado grueso (Ensayo 1).



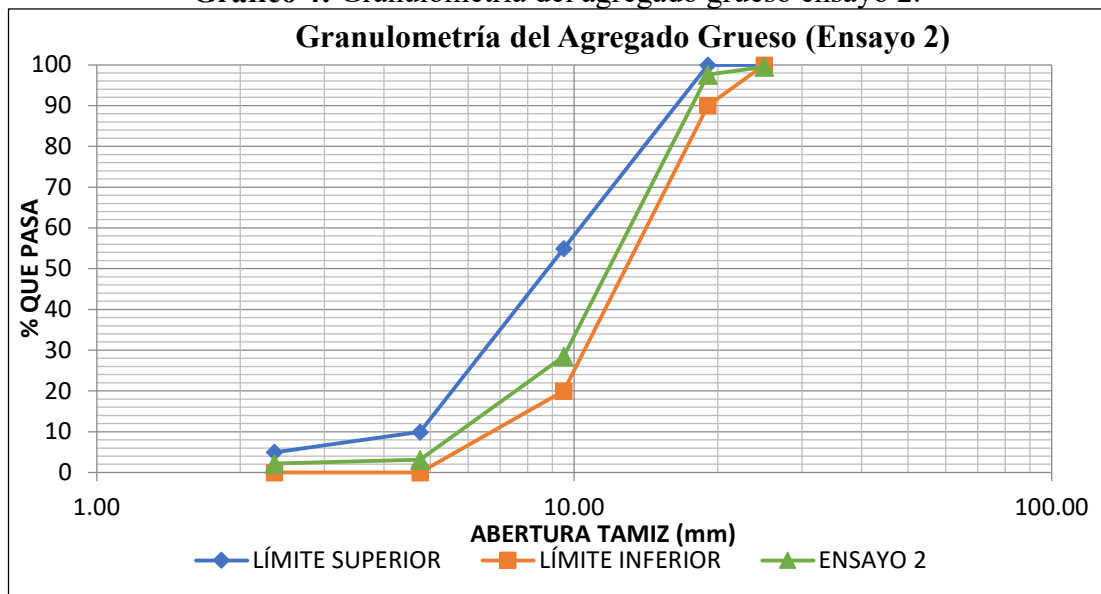
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 24: Granulometría del agregado grueso ensayo 2.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO					
ORIGEN:	LA PENINSULA - AMBATO		NORMA:	NTE INEN 696	
ENSAYADO POR:	ALEXIS LEÓN MERINO		FECHA:	18/11/2022	
PESO DE LA MUESTRA (gr.):	5000		PÉRDIDA DE MUESTRA (%):	0.01%	
Tamiz	Retenido Parcial (gr)	Retenido Acumulado (gr.)	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Límites ASTM % Que Pasa
1"	22.61	22.61	0.45	99.55	100
3/4"	95.94	118.55	2.37	97.63	90 --- 100
1/2"	527.51	646.06	12.92	87.08	-
3/8"	2930.09	3576.15	71.52	28.48	20 --- 55
#4	1267.66	4843.81	96.88	3.12	0 --- 10
#8	45.49	4889.30	97.79	2.21	0 --- 5
Bandeja	110.56	4999.86	100.00	0.00	
TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO:			3/4"		

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4: Granulometría del agregado grueso ensayo 2.



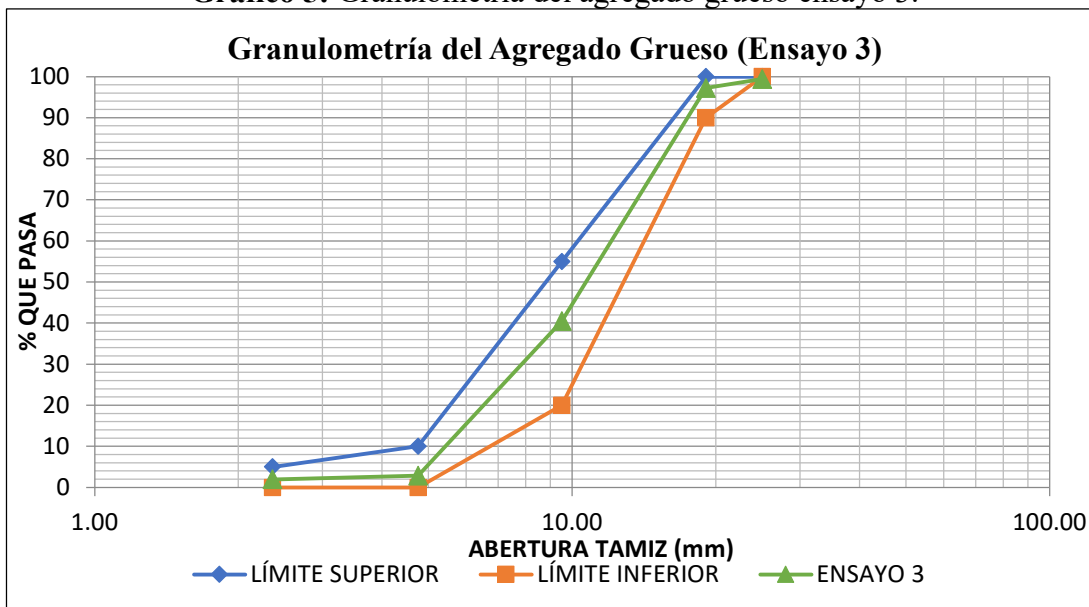
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 25: Granulometría del agregado grueso ensayo 3.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO					
ORIGEN:	LA PENINSULA - AMBATO		NORMA:	NTE INEN 696	
ENSAYADO POR:	ALEXIS LEÓN MERINO		FECHA:	18/11/2022	
PESO DE LA MUESTRA (gr.):	5000		PÉRDIDA DE MUESTRA (%):	0.01%	
Tamiz	Retenido Parcial (gr)	Retenido Acumulado (gr.)	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Límites ASTM % Que Pasa
1"	29.56	29.56	0.59	99.41	100
3/4"	109.75	139.31	2.79	97.21	90 --- 100
1/2"	687.21	826.52	16.53	83.47	-
3/8"	2147.59	2974.11	59.48	40.52	20 --- 55
#4	1882.81	4856.92	97.14	2.86	0 --- 10
#8	43.71	4900.63	98.01	1.99	0 --- 5
BANDEJ A	99.25	4999.88	100.00	0.00	
TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO:			3/4"		

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 5: Granulometría del agregado grueso ensayo 3.



Fuente: Elaboración Propia

En los gráficos 3, 4 y 5, correspondientes a los tres ensayos de granulometría realizados al agregado grueso dieron como resultado valores que se encuentran dentro del rango permitido por la norma NTE INEN 696, por este motivo el árido es el adecuado para ser utilizado en la fabricación de hormigón, debido a que el material tiene una correcta distribución de partículas en el hormigón y a su vez aumenta la resistencia a la compresión. [19]

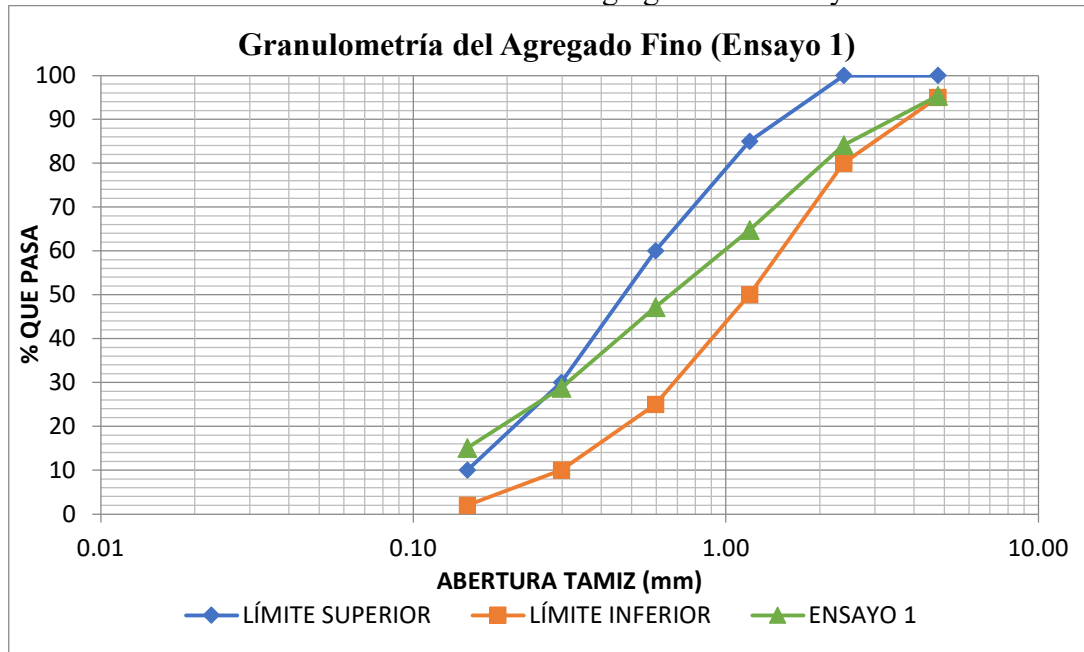
1.8.3 Granulometría del agregado fino

Tabla 26: Granulometría del agregado fino ensayo 1.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
<i>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO</i>					
ORIGEN:		LA PENINSULA - AMBATO	NORMA:		NTE INEN 696
ENSAYADO POR:		ALEXIS LEÓN MERINO	FECHA:		18/11/2022
PESO DE LA MUESTRA (gr.):		1000	PÉRDIDA DE MUESTRA (%):		0.04%
Tamiz	Retenido Parcial (gr)	Retenido Acumulado (gr)	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Límites ASTM % Que Pasa
3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00	100
#4	46.28	46.28	4.63	95.37	95 --- 100
#8	112.62	158.90	15.89	84.11	80 --- 100
#16	193.57	352.47	35.25	64.75	50 --- 85
#30	175.84	528.31	52.83	47.17	25 --- 60
#50	184.27	712.58	71.26	28.74	10 --- 30
#100	136.72	849.30	84.93	15.07	2 --- 10
#200	110.85	960.15	96.02	3.98	-
Bandeja	39.44	999.59	99.96	0.04	-
MÓDULO DE FINURA			2.6		

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 6: Granulometría del agregado fino ensayo 1.



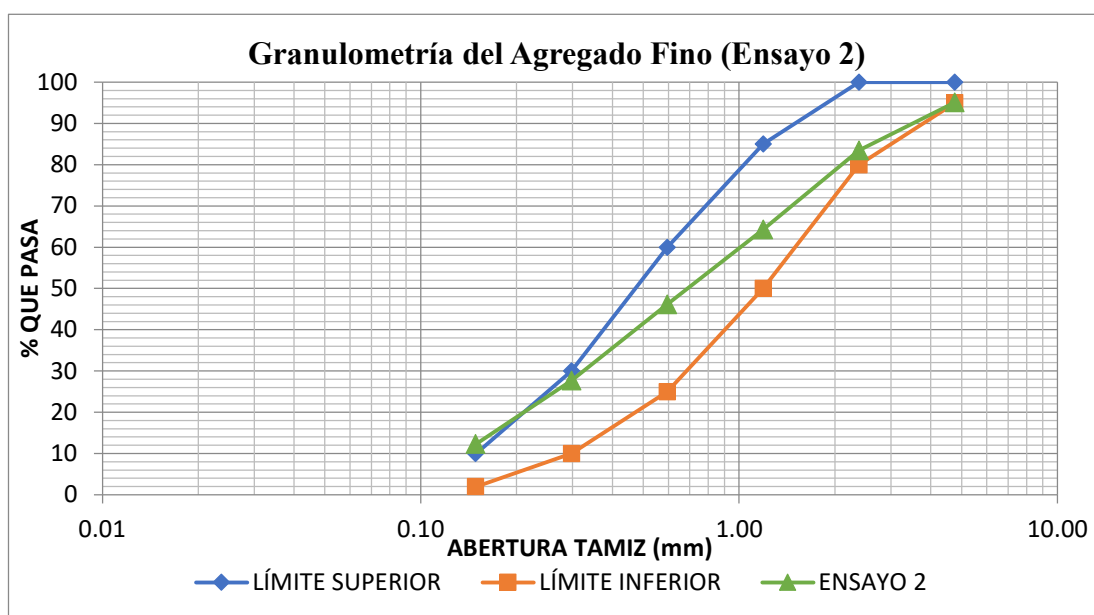
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 27: Granulometría del agregado fino ensayo 2.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
<i>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO</i>					
ORIGEN:	LA PENINSULA - AMBATO		NORMA:	NTE INEN 696	
ENSAYADO POR:	ALEXIS LEÓN MERINO		FECHA:	18/11/2022	
PESO DE LA MUESTRA (gr.):	1000		PÉRDIDA DE MUESTRA (%):	0.04%	
Tamiz	Retenido Parcial (gr)	Retenido Acumulado (gr)	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Límites ASTM % Que Pasa
3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00	100
#4	48.75	48.75	4.88	95.12	95 --- 100
#8	116.31	165.06	16.51	83.49	80 --- 100
#16	191.81	356.87	35.69	64.31	50 --- 85
#30	181.65	538.52	53.85	46.15	25 --- 60
#50	184.48	723.00	72.30	27.70	10 --- 30
#100	153.97	876.97	87.70	12.30	2 --- 10
#200	96.50	973.47	97.35	2.65	-
Bandeja	26.08	999.55	99.96	0.04	-
MÓDULO DE FINURA			2.7		

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 7: Granulometría del agregado fino ensayo 2.



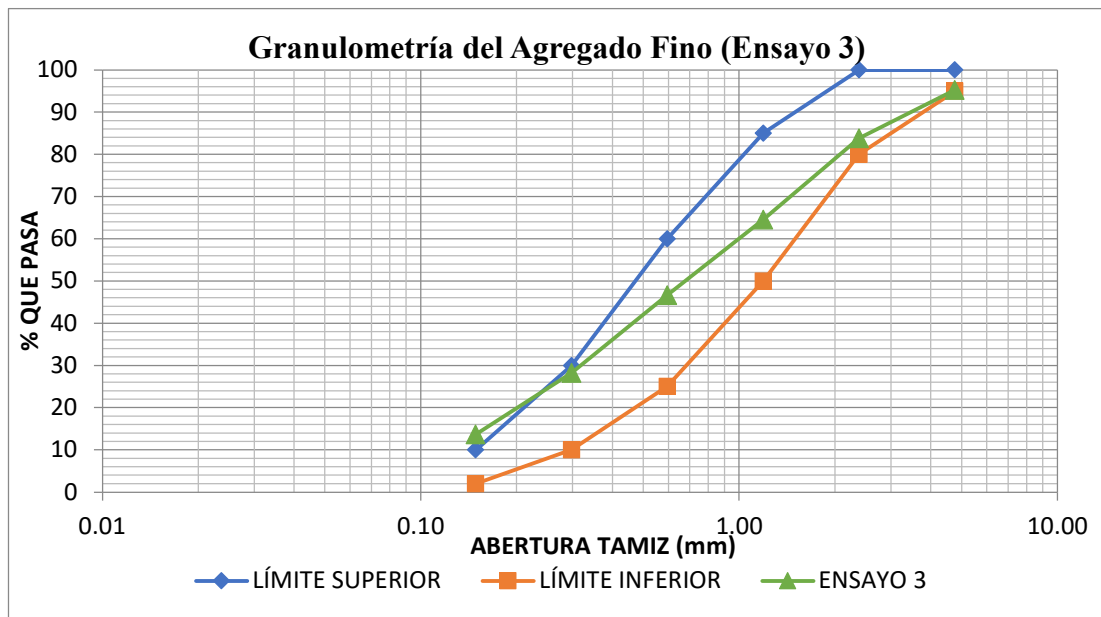
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 28: Granulometría del agregado fino ensayo 3.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
<i>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO</i>					
ORIGEN:	LA PENINSULA - AMBATO		NORMA:	NTE INEN 696	
ENSAYADO POR:	ALEXIS LEÓN MERINO		FECHA:	18/11/2022	
PESO DE LA MUESTRA (gr.):	1000		PÉRDIDA DE MUESTRA (%):	0.03%	
Tamiz	Retenido Parcial (gr)	Retenido Acumulado (gr)	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Límites ASTM % Que Pasa
3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00	100
#4	47.51	47.51	4.75	95.25	95 --- 100
#8	114.46	161.97	16.20	83.80	80 --- 100
#16	192.68	354.65	35.47	64.53	50 --- 85
#30	178.74	533.39	53.34	46.66	25 --- 60
#50	184.42	717.81	71.78	28.22	10 --- 30
#100	145.39	863.20	86.32	13.68	2 --- 10
#200	103.77	966.97	96.70	3.30	-
Bandeja	32.76	999.73	99.97	0.03	-
MÓDULO DE FINURA			2.7		

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 8: Granulometría del agregado fino ensayo 3.



Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar en los gráficos 6, 7 y 8, el agregado fino utilizado en los ensayos muestra una distribución de partículas adecuado y uniforme en todos los rangos establecidos en la normativa, sin embargo, existe un pequeño excedente del 2% al 5% en la cantidad de material que pasa por el tamiz #100, esto afecta en el aumento de la trabajabilidad, bombeo y exudación del hormigón. [20]

Los valores de módulo de finura que se obtuvieron de los tres ensayos de granulometría del agregado fino, 2.6, 2.7, 2.7, respectivamente, indica que el árido se encuentra dentro del rango de 2.3 a 3.1 señalado en la norma NTE INEN 872, por lo tanto, el agregado fino cumple con los requisitos y características adecuadas para ser utilizado en la elaboración de hormigón, pues se optimizará las cantidades de pasta con una buena trabajabilidad y se disminuye la segregación del concreto. [20]

1.8.4 Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso

Tabla 29: Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
<i>DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO</i>				
ORIGEN:	LA PENINSULA - AMBATO	NORMA:	INEN 857	
ENSAYADO POR:	ALEXIS LEÓN MERINO	FECHA:	25/11/2022	
DATO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR 1	VALOR 2
CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL DEL RIPIO				
M1	MASA DE LA CANASTILLA EN EL AIRE	gr.	1487	1494
M2	MASA DE LA CANASTILLA EN EL AGUA	gr.	1331	1335
M3	MASA DE LA CANASTILLA + MUESTRA S.S.S. EN EL AIRE	gr.	5484	5492
M4	MASA DE LA CANASTILLA + MUESTRA S.S.S. EN EL AGUA	gr.	3809	3817
DA	DENSIDAD REAL DEL AGUA	gr./cm3	1.000	
M5 = M3 - M1	MASA DE LA MUESTRA S.S.S. EN EL AIRE	gr.	3997	3998
M6 = M4 - M2	MASA DE LA MUESTRA S.S.S. EN EL AGUA	gr.	2478	2482
VR = (M5-M6) / DA	VOLUMEN REAL DE LA MUESTRA	cm3	1519	1516
DR = M5 / VR	DENSIDAD REAL DEL RIPIO	gr./cm3	2.631	2.637
P1 = (DRR1 + DRR2) / 2	DENSIDAD REAL PROMEDIO DEL RIPIO	gr./cm3	2.634	
CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL RIPIO				
M7	MASA DEL RECIPIENTE	gr.	24.2	24.4
M8	MASA DEL RECIPIENTE + MUESTRA S.S.S.	gr.	146.1	147.6
M9 = M8 - M7	MASA DE LA MUESTRA S.S.S.	gr.	121.9	123.2
M10	MASA DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA	gr.	143.4	144.8
M11 = M10 - M7	MASA DE LA MUESTRA SECA	gr.	119.2	120.4
CA = ((M9 - M11) / M11) * 100	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN	%	2.265	2.326
P2 = (CA1 + CA2) / 2	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN PROMEDIO DEL RIPIO	%	2.295	

Fuente: Elaboración Propia

De la tabla 29 se extrae el valor de 2.634 gr/cm^3 obtenido del ensayo de densidad real en un estado de saturación superficial seca del agregado grueso muestran que el agregado cumple con los requerimientos establecidos en la norma NTE INEN 857. [23]

Por otra parte, el valor promedio de capacidad de absorción del 2.295% se encuentra dentro del rango de 0.2% a 4%, esto se debe a la existencia de poros en el árido que a su vez absorbe agua en mayor cantidad. [36]

1.8.5 Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino

Tabla 30: Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
<i>DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO</i>				
ORIGEN:	LA PENINSULA - AMBATO	NORMA:	INEN 856	
ENSAYADO POR:	ALEXIS LEÓN MERINO	FECHA:	25/11/2022	
DATO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR 1	VALOR 2
CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL DE LA ARENA				
M1	MASA DEL PICNÓMETRO	gr.	162.57	162.51
M2	MASA DEL PICNÓMETRO + MUESTRA S.S.S.	gr.	276.32	276.34
M3	MASA DEL PICNÓMETRO + MUESTRA S.S.S. + AGUA	gr.	730.45	730.53
M4 = M3 - M2	MASA AGUA AÑADIDA	gr.	454.13	454.19
M5	MASA PICNÓMETRO + 500 cm ³ DE AGUA	gr.	661.22	661.15
M6 = M5 - M1	MASA DE 500 cm ³ DE AGUA	gr.	498.65	498.64
DA = M6 / 500 cm³	DENSIDAD DEL AGUA	gr./cm³	1.00	1.00
M7 = M6 - M4	MASA DE AGUA DESALOJADA POR LA MUESTRA	gr.	44.52	44.45
Msss = M2 - M1	MASA DEL AGREGADO	gr.	113.75	113.83
Vsss = M7 / DA	VOLUMEN DE AGUA DESALOJADA	cm³	44.64	44.57
DRA = Msss / Vsss	DENSIDAD REAL DE LA ARENA	gr./cm³	2.55	2.55
P = (DRA1 + DRA2) / 2	DENSIDAD REAL PROMEDIO DE LA ARENA	gr./cm³	2.551	
CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LA ARENA				
M7	MASA DEL RECIPIENTE	gr.	24.5	24.7
M8	MASA DEL RECIPIENTE + MUESTRA S.S.S.	gr.	144.1	144.5
M9 = M8 - M7	MASA DE LA MUESTRA S.S.S.	gr.	119.6	119.8
M10	MASA DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA	gr.	141.1	141.4
M11 = M10 - M7	MASA DE LA MUESTRA SECA	gr.	116.6	116.7
CA = ((M9 - M11) / M11) * 100	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN	%	2.573	2.656
P2 = (CA1 + CA2) / 2	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN PROMEDIO DE LA ARENA	%	2.615	

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 30 se puede visualizar el resultado de 2.551 g/cm^3 obtenido mediante el ensayo de densidad real para la arena cumpliendo los parámetros de la norma NTE INEN 856 indican que la arena fina a ser utilizada es de buena calidad y puede ser utilizada en la fabricación de hormigón.

En otro aspecto, la capacidad de absorción del agregado fino tiene un valor promedio de 2.615% que se encuentra cercano al rango entre 0.2% y 2%, por lo cual se lo identifica como un agregado de no tan buena calidad.

1.8.6 Contenido de humedad del agregado fino y grueso.

Tabla 31: Contenido de humedad del agregado fino.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
<i>CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO</i>					
ORIGEN:	LA PENINSULA - AMBATO	NORMA:	INEN 856		
ENSAYADO POR:	ALEXIS LEÓN MERINO	FECHA:	25/11/2022		
Dato	Descripción	Unidad	Valor 1	Valor 2	Valor 3
W_r	PESO DEL RECIPIENTE	gr.	30.9	31.3	30.3
W_m+W_r	PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA + PESO DEL RECIPIENTE	gr.	160.1	159.9	161.2
W_s+W_r	PESO DE LA MUESTRA SECA + PESO DEL RECIPIENTE	gr.	156.9	156.4	157.8
W_w	PESO DEL AGUA	gr.	3.2	3.5	3.4
W_s	PESO DE LA MUESTRA SECA	gr.	126.0	125.1	127.5
W_n%	CONTENIDO DE HUMEDAD	%	2.540	2.798	2.667
W%	CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO	%	2.668		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 32: Contenido de humedad del agregado grueso.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO					
ORIGEN:	LA PENINSULA - AMBATO	NORMA:	INEN 857		
ENSAYADO POR:	ALEXIS LEÓN MERINO	FECHA:	25/11/2022		
Dato	Descripción	Unidad	Valor 1	Valor 2	Valor 3
W_r	PESO DEL RECIPIENTE	gr.	30.1	31.3	30.7
W_m+W_r	PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA + PESO DEL RECIPIENTE	gr.	139.9	140.2	140.6
W_s+W_r	PESO DE LA MUESTRA SECA + PESO DEL RECIPIENTE	gr.	138.6	138.9	139.3
W_w	PESO DEL AGUA	gr.	1.3	1.3	1.3
W_s	PESO DE LA MUESTRA SECA	gr.	108.5	107.6	108.6
W_n%	CONTENIDO DE HUMEDAD	%	1.198	1.208	1.197
W%	CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO	%	1.201		

Fuente: Elaboración Propia

1.8.7 Determinación de la densidad aparente suelta y compactada de los agregados.

Tabla 33: Densidad aparente suelta del agregado fino y grueso.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
<i>DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO</i>				
ORIGEN:	LA PENINSULA - AMBATO		NORMA:	NTE INEN 858
ENSAYADO POR:	ALEXIS LEÓN MERINO		FECHA:	20/11/2022
MASA RECIPIENTE (kg.):	9.90		VOLUMEN RECIPIENTE (dm³):	20.65
Agregado	Agregado + Recipiente (kg.)	Agregado (kg.)	Peso Unitario (kg/dm³)	Peso Unitario Promedio (kg/dm³)
GRUESO	38.4	28.50	1.380	1.382
	38.6	28.70	1.390	
	38.3	28.40	1.375	
FINO	41.7	31.80	1.540	1.537
	41.9	32.00	1.550	
	41.3	31.40	1.521	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 34: Densidad aparente compactada del agregado fino y grueso.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO				
ORIGEN:	LA PENINSULA - AMBATO		NORMA:	NTE INEN 858
ENSAYADO POR:	ALEXIS LEÓN MERINO		FECHA:	20/11/2022
MASA RECIPIENTE (kg.):	9.90		VOLUMEN RECIPIENTE (dm³):	20.65
Agregado	Agregado + Recipiente (kg.)	Agregado (kg.)	Peso Unitario (kg/dm ³)	Peso Unitario Promedio (kg/dm ³)
GRUESO	39.4	29.50	1.429	1.430
	39.6	29.70	1.438	
	39.3	29.40	1.424	
FINO	43.7	33.80	1.637	1.634
	43.9	34.00	1.646	
	43.3	33.40	1.617	

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos en los ensayos realizados al ripio y arena varían dentro del rango de 1.120 a 1.190 gr/cm³, por lo cual los agregados son considerados adecuados para su uso en la elaboración del hormigón. [36]

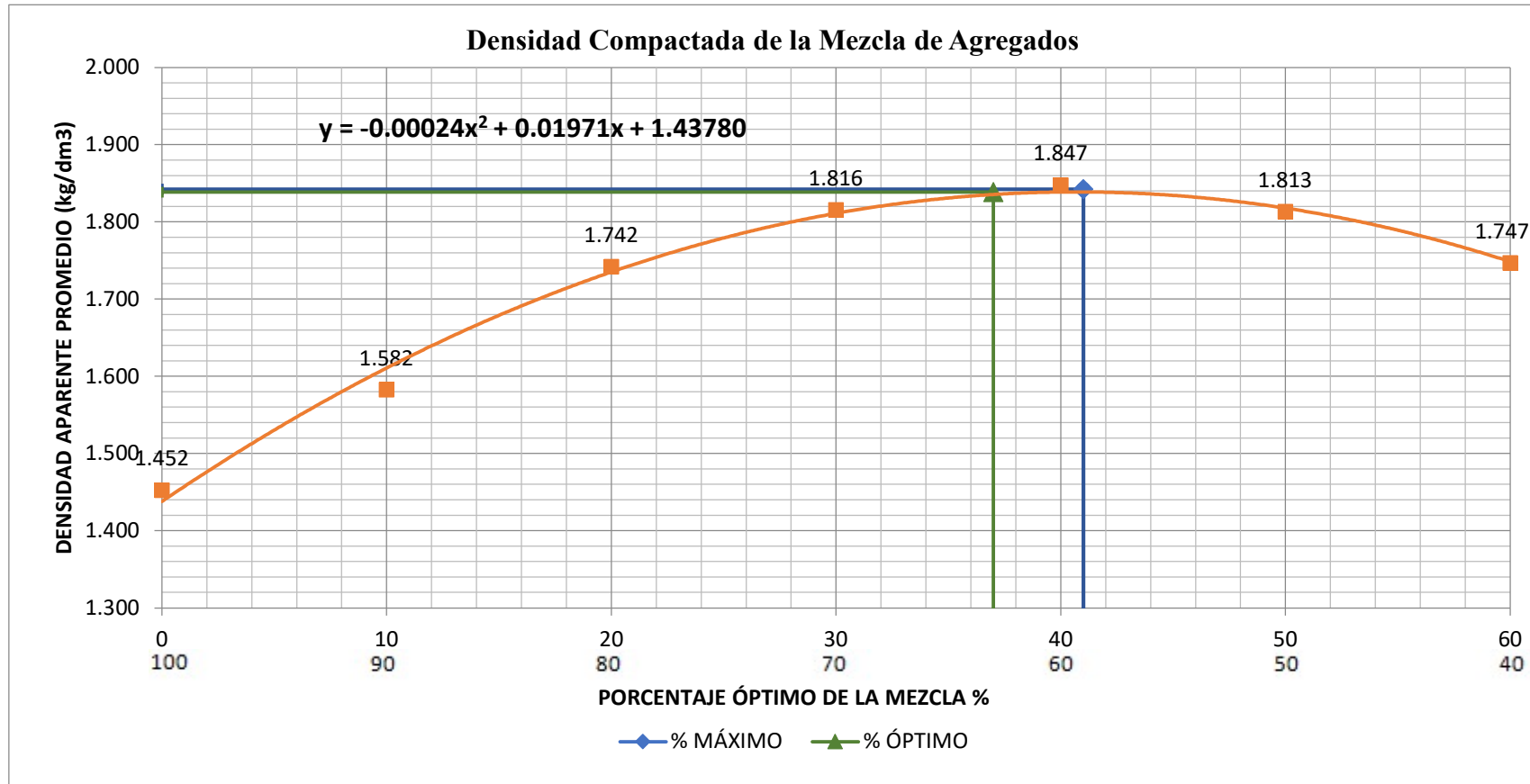
1.8.8 Densidad compactada de la mezcla de agregados

Tabla 35: Densidad compactada de la mezcla de agregados.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL <i>DENSIDAD COMPACTADO DE LA MEZCLA</i>								
ORIGEN:		LA PENINSULA - AMBATO			NORMA:		INEN 858	
ENSAYADO POR:		ALEXIS LEÓN MERINO			FECHA:		44886	
MASA RECIPIENTE (kg.):		10.00			VOLUMEN RECIPIENTE (dm³):		20.38	
% Mezcla		Cantidad (kg.)		Fino Añadido (kg.)	Agregado + Recipiente (kg.)	Agregado (kg.)	Densidad Mezcla kg/dm ³	Densidad Promedio kg/dm ³
R	A	R	A	A	AGREGADO FINO + AGREGADO GRUESO			
100	0	40	0.00	0.00	39.7	29.7	1.457	1.452
					39.5	29.5	1.447	
90	10	40	4.44	4.44	42.1	32.1	1.575	1.582
					42.4	32.4	1.590	
80	20	40	10.00	5.56	45.6	35.6	1.747	1.742
					45.4	35.4	1.737	
70	30	40	17.14	7.14	46.9	36.9	1.811	1.816
					47.1	37.1	1.820	
60	40	40	26.67	9.53	47.5	37.5	1.840	1.847
					47.8	37.8	1.855	
50	50	40	40.00	13.33	46.8	36.8	1.806	1.813
					47.1	37.1	1.820	
40	60	40	60.00	20.00	45.7	35.7	1.752	1.747
					45.5	35.5	1.742	

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 9: Curva densidad compactada vs % de mezcla.



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 36: Porcentajes y densidades máximas y óptimas de agregados.

<i>PORCENTAJE MÁXIMO DE AGREGADO FINO</i>	41	%
<i>PORCENTAJE MÁXIMO DE AGREGADO GRUESO</i>	59	%
<i>PORCENTAJE ÓPTIMO DE AGREGADO FINO</i>	37	%
<i>PORCENTAJE ÓPTIMO DE AGREGADO GRUESO</i>	63	%
<i>DENSIDAD MÁXIMA</i>	1.842	Kg/dm ³
<i>DENSIDAD ÓPTIMA DE LOS AGREGADOS</i>	1.839	Kg/dm ³

Fuente: Elaboración Propia

Los diferentes ensayos realizados con los distintos porcentajes de mezcla de agregados, presentados en el gráfico 9, indican que el valor porcentual máximo de agregado fino es del 41% y de agregado grueso es el 59%, por tal razón el porcentaje óptimo de agregado fino será 4% menos del porcentaje máximo y este valor se adicionará al porcentaje óptimo de agregado grueso, dando como resultado el 37% y 63%, respectivamente.

Por otra parte, el valor de densidad máxima y óptima de la mezcla de agregados es de 1.842 kg/dm³ y 1.839 kg/dm³, respectivamente, los mismos que son tomados en cuenta en la fase de la preparación de dosificaciones de hormigón.

1.9 Propiedades del hormigón en estado fresco

A continuación, se presenta la nomenclatura que será utilizada para referirse a cada dosificación:

Tabla 37: Nomenclatura de dosificaciones para tablas y gráficos.

DATO	DESCRIPCIÓN
HS-0%	Se refiere a la dosificación del hormigón simple con 0% reemplazo de agregado fino
HS-5%	Se refiere a la dosificación de hormigón con 5% reemplazo de agregado fino.
HS-10%	Se refiere a la dosificación de hormigón con 10% reemplazo de agregado fino.
HS+5%	Se refiere a la dosificación del hormigón simple con 5% de adición de fibras de caucho y 2% de aditivo plastificante
HS+10%	Se refiere a la dosificación del hormigón simple con 10% de adición de fibras de caucho y 2% de aditivo plastificante

Fuente: Elaboración Propia

1.9.1 Densidad del hormigón en estado fresco

Tabla 38: Densidad en estado fresco de hormigón $f_c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 0% de reemplazo de agregado fino.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL									
Tema: "Análisis comparativo del hormigón simple y el hormigón con fibras de caucho reciclado de neumáticos como reemplazo parcial del agregado fino y su influencia en la resistencia a la compresión"									
MUESTRA:		CILINDRO DE HORMIGÓN			FECHA:		22/12/2022		
ENSAYADO POR:		ALEXIS LEÓN MERINO			NORMA:		NTE INEN 3124		
DENSIDAD DE HORMIGÓN FRESCO CON 0% DE REEMPLAZO									
Edad (Días)	Tipo Dosificación	Diámetro de molde (m)	Altura de molde (m)	Volumen de molde (m ³)	Peso de molde (kg)	Peso de molde + Hormigón (Kg)	Peso de hormigón (Kg)	Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)
7	HS-0%	0.100	0.200	0.0016	7.706	11.315	3.609	2297.24	2302.63
	HS-0%	0.100	0.200	0.0016	7.722	11.338	3.616	2301.70	
	HS-0%	0.100	0.200	0.0016	7.703	11.378	3.676	2339.90	
14	HS-0%	0.100	0.200	0.0016	7.693	11.326	3.634	2313.16	
	HS-0%	0.100	0.200	0.0016	7.714	11.313	3.600	2291.51	
	HS-0%	0.100	0.200	0.0016	7.723	11.292	3.569	2271.78	
21	HS-0%	0.100	0.200	0.0016	7.714	11.326	3.612	2299.47	
	HS-0%	0.100	0.200	0.0016	7.712	11.358	3.645	2320.64	
	HS-0%	0.100	0.200	0.0016	7.698	11.352	3.655	2326.53	
28	HS-0%	0.100	0.200	0.0016	7.703	11.320	3.617	2302.34	
	HS-0%	0.100	0.200	0.0016	7.718	11.303	3.584	2281.80	
	HS-0%	0.100	0.200	0.0016	7.719	11.309	3.590	2285.46	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 39: Densidad en estado fresco de hormigón $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 5% de reemplazo de agregado fino.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL									
Tema: "Análisis comparativo del hormigón simple y el hormigón con fibras de caucho reciclado de neumáticos como reemplazo parcial del agregado fino y su influencia en la resistencia a la compresión"									
MUESTRA:		CILINDRO DE HORMIGÓN			FECHA:		22/12/2022		
ENSAYADO POR:		ALEXIS LEÓN MERINO			NORMA:		NTE INEN 3124		
DENSIDAD DE HORMIGÓN FRESCO CON 5% DE REEMPLAZO									
Edad (Días)	Tipo Dosificación	Diámetro de molde (m)	Altura de molde (m)	Volumen de molde (m3)	Peso de molde (kg)	Peso de molde + Hormigón (Kg)	Peso de hormigón (Kg)	Densidad (Kg/m³)	Densidad Promedio (Kg/m³)
7	HS-5%	0.100	0.200	0.0016	7.713	11.261	3.548	2258.41	2259.39
	HS-5%	0.100	0.200	0.0016	7.709	11.236	3.527	2245.36	
	HS-5%	0.100	0.200	0.0016	7.699	11.253	3.555	2262.86	
14	HS-5%	0.100	0.200	0.0016	7.698	11.239	3.541	2254.27	
	HS-5%	0.100	0.200	0.0016	7.704	11.227	3.523	2242.81	
	HS-5%	0.100	0.200	0.0016	7.718	11.296	3.578	2277.51	
21	HS-5%	0.100	0.200	0.0016	7.711	11.268	3.557	2264.46	
	HS-5%	0.100	0.200	0.0016	7.704	11.268	3.564	2268.75	
	HS-5%	0.100	0.200	0.0016	7.698	11.246	3.548	2258.57	
28	HS-5%	0.100	0.200	0.0016	7.701	11.233	3.532	2248.54	
	HS-5%	0.100	0.200	0.0016	7.711	11.261	3.550	2260.16	
	HS-5%	0.100	0.200	0.0016	7.715	11.282	3.567	2270.98	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 40: Densidad en estado fresco de hormigón $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 10% de reemplazo de agregado fino.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL									
Tema: "Análisis comparativo del hormigón simple y el hormigón con fibras de caucho reciclado de neumáticos como reemplazo parcial del agregado fino y su influencia en la resistencia a la compresión"									
MUESTRA:		CILINDRO DE HORMIGÓN			FECHA:		23/12/2022		
ENSAYADO POR:		ALEXIS LEÓN MERINO			NORMA:		NTE INEN 3124		
DENSIDAD DE HORMIGÓN FRESCO CON 10% DE REEMPLAZO									
Edad (Días)	Tipo Dosificación	Diámetro de molde (m)	Altura de molde (m)	Volumen de molde (m3)	Peso de molde (kg)	Peso de molde + Hormigón (Kg)	Peso de hormigón (Kg)	Densidad (Kg/m³)	Densidad Promedio (Kg/m³)
7	HS-10%	0.100	0.200	0.0016	4.747	8.107	3.361	2139.36	2164.83
	HS-10%	0.100	0.200	0.0016	4.666	8.147	3.481	2215.76	
	HS-10%	0.100	0.200	0.0016	4.722	8.178	3.457	2200.48	
14	HS-10%	0.100	0.200	0.0016	4.689	8.105	3.416	2174.69	
	HS-10%	0.100	0.200	0.0016	4.593	8.181	3.589	2284.51	
	HS-10%	0.100	0.200	0.0016	4.698	8.107	3.409	2169.92	
21	HS-10%	0.100	0.200	0.0016	5.181	8.152	2.971	1891.40	
	HS-10%	0.100	0.200	0.0016	4.662	8.160	3.498	2226.58	
	HS-10%	0.100	0.200	0.0016	4.705	8.142	3.437	2187.74	
28	HS-10%	0.100	0.200	0.0016	4.641	8.143	3.502	2229.60	
	HS-10%	0.100	0.200	0.0016	4.645	8.144	3.499	2227.21	
	HS-10%	0.100	0.200	0.0016	4.939	8.129	3.190	2030.66	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 41: Densidad en estado fresco de hormigón $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 5% de adición de fibras de caucho y 2% de aditivo plastificante.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL									
Tema: "Análisis comparativo del hormigón simple y el hormigón con fibras de caucho reciclado de neumáticos como reemplazo parcial del agregado fino y su influencia en la resistencia a la compresión"									
MUESTRA:		CILINDRO DE HORMIGÓN				FECHA:		30/12/2022	
ENSAYADO POR:		ALEXIS LEÓN MERINO				NORMA:		NTE INEN 3124	
DENSIDAD DE HORMIGÓN FRESCO CON 5% DE ADICIÓN+PLASTIFICANTE									
Edad (Días)	Tipo Dosificación	Diámetro de molde (m)	Altura de molde (m)	Volumen de molde (m3)	Peso de molde (kg)	Peso de molde + Hormigón (Kg)	Peso de hormigón (Kg)	Densidad (Kg/m³)	Densidad Promedio (Kg/m³)
7	HS+5%	0.100	0.200	0.0016	7.706	11.385	3.679	2341.81	2352.63
	HS+5%	0.100	0.200	0.0016	7.722	11.398	3.676	2339.90	
	HS+5%	0.100	0.200	0.0016	7.703	11.428	3.726	2371.73	
14	HS+5%	0.100	0.200	0.0016	7.693	11.416	3.724	2370.45	
	HS+5%	0.100	0.200	0.0016	7.714	11.393	3.680	2342.44	
	HS+5%	0.100	0.200	0.0016	7.723	11.412	3.689	2348.17	
21	HS+5%	0.100	0.200	0.0016	7.714	11.391	3.677	2340.85	
	HS+5%	0.100	0.200	0.0016	7.712	11.418	3.705	2358.84	
	HS+5%	0.100	0.200	0.0016	7.698	11.422	3.725	2371.09	
28	HS+5%	0.100	0.200	0.0016	7.703	11.405	3.702	2356.45	
	HS+5%	0.100	0.200	0.0016	7.718	11.402	3.684	2345.31	
	HS+5%	0.100	0.200	0.0016	7.719	11.401	3.683	2344.51	

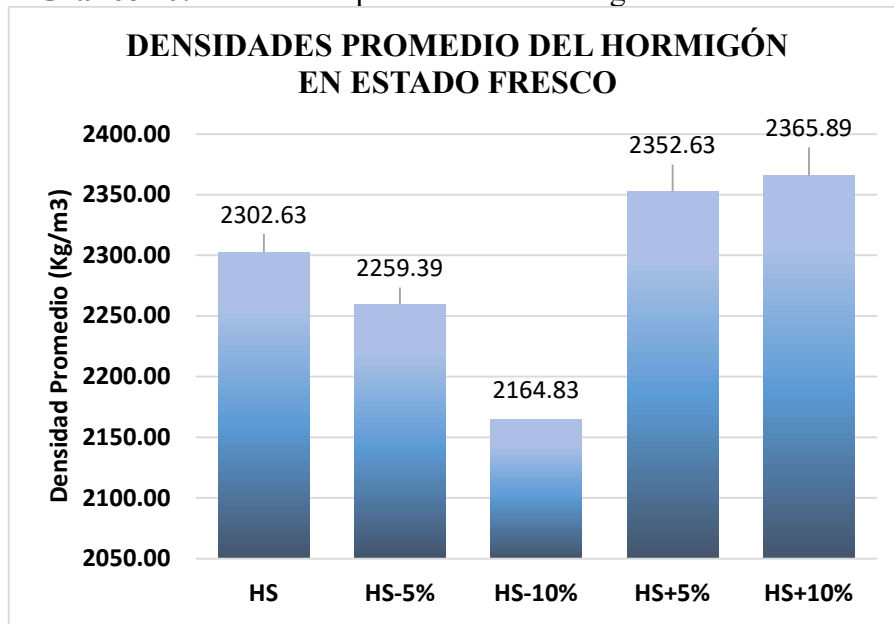
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 42: Densidad en estado fresco de hormigón $f_c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 10% de adición de fibras de caucho y 2% de aditivo plastificante.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL									
Tema: "Análisis comparativo del hormigón simple y el hormigón con fibras de caucho reciclado de neumáticos como reemplazo parcial del agregado fino y su influencia en la resistencia a la compresión"									
MUESTRA:		CILINDRO DE HORMIGÓN			FECHA:		30/12/2022		
ENSAYADO POR:		ALEXIS LEÓN MERINO			NORMA:		NTE INEN 3124		
DENSIDAD DE HORMIGÓN FRESCO CON 10% DE ADICIÓN+PLASTIFICANTE									
Edad (Días)	Tipo Dosificación	Diámetro de molde (m)	Altura de molde (m)	Volumen de molde (m3)	Peso de molde (kg)	Peso de molde + Hormigón (Kg)	Peso de hormigón (Kg)	Densidad (Kg/m³)	Densidad Promedio (Kg/m³)
7	HS+10%	0.100	0.200	0.0016	7.713	11.435	3.722	2369.18	2365.89
	HS+10%	0.100	0.200	0.0016	7.709	11.428	3.719	2367.27	
	HS+10%	0.100	0.200	0.0016	7.699	11.418	3.720	2367.91	
14	HS+10%	0.100	0.200	0.0016	7.698	11.426	3.729	2373.64	
	HS+10%	0.100	0.200	0.0016	7.704	11.413	3.710	2361.54	
	HS+10%	0.100	0.200	0.0016	7.718	11.422	3.704	2357.72	
21	HS+10%	0.100	0.200	0.0016	7.711	11.431	3.720	2368.23	
	HS+10%	0.100	0.200	0.0016	7.704	11.418	3.714	2364.25	
	HS+10%	0.100	0.200	0.0016	7.698	11.422	3.724	2370.77	
28	HS+10%	0.100	0.200	0.0016	7.701	11.420	3.719	2367.59	
	HS+10%	0.100	0.200	0.0016	7.711	11.417	3.707	2359.63	
	HS+10%	0.100	0.200	0.0016	7.715	11.426	3.712	2362.97	

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 10: Densidades promedio del hormigón en estado fresco.



Fuente: Elaboración Propia

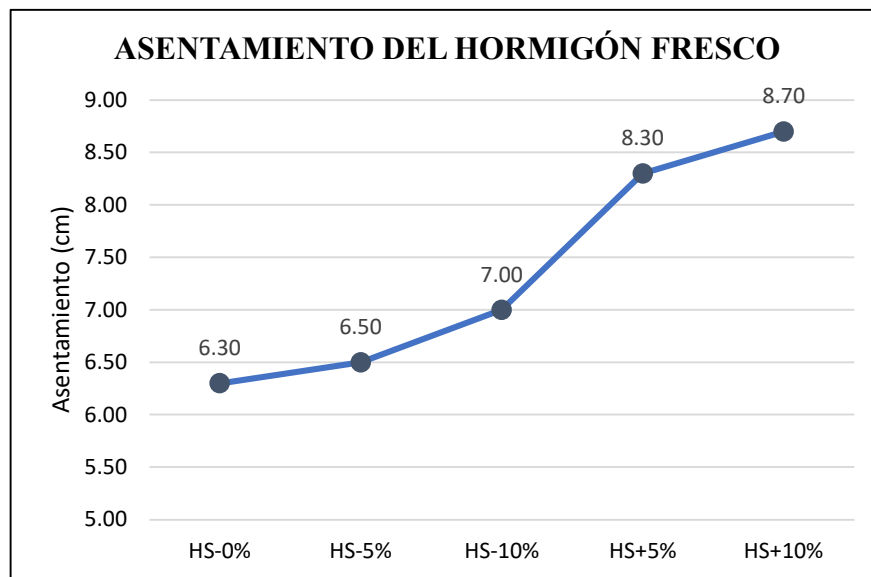
Para los ensayos de densidad de hormigón en estado fresco, presentados en el gráfico 10, según los parámetros establecidos en la norma NTE INEN 3142 se obtuvo un valor promedio para el hormigón simple de 2302.63 Kg/m³, por otra parte, para el hormigón con 5% y 10% de reemplazo, se obtuvo valores de 2259.39 Kg/cm³ y 2164.83 Kg/cm³, respectivamente, por último, para el hormigón con 5% y 10% de adición se obtuvo un valor de 2352.53 Kg/cm³ y 2365.89 Kg/cm³. Todos los valores promedios de densidad se encuentran dentro del rango superior al 2160 Kg/m³ para hormigones de peso normal, sin embargo, la mayor densidad del hormigón en estado fresco corresponde a la dosificación con el 10% de adición de caucho y aditivo plastificante, esto se debe al incremento de estos materiales en la dosificación. [37] [38]

Tabla 43: Asentamiento y consistencia del hormigón fresco.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
Tema: "Análisis comparativo del hormigón simple y el hormigón con fibras de caucho reciclado de neumáticos como reemplazo parcial del agregado fino y su influencia en la resistencia a la compresión"			
MUESTRA:	CONO DE ABRAMS	FECHA:	22-23-30/12/2022
ENSAYADO POR:	ALEXIS LEÓN MERINO	NORMA:	NTE INEN 1578
ASENTAMIENTO Y CONSISTENCIA DE HORMIGÓN			
Dosificación	Asentamiento (cm)	Consistencia	
HS-0%	6.00	Plástica	
HS-5%	6.50	Plástica	
HS-10%	7.00	Plástica	
HS+5%	8.00	Plástica	
HS+10%	8.50	Plástica	

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 11: Asentamiento del hormigón fresco.



Fuente: Elaboración Propia

Para la determinación del asentamiento del hormigón se rigió a los parámetros establecidos por la norma INEN NTE 1578, dando como resultado valores que varían desde 6.30cm hasta 8.70cm, como se puede observar en la gráfica 11, dichos valores pertenecen a la dosificación del hormigón simple y hormigón simple con 10% de adición de fibras de caucho y plastificante, respectivamente y se encuentran dentro del rango de asentamiento de 8 ± 5 cm. Por otra parte, se muestra un mayor asentamiento

del hormigón con el 5% y 10% de reemplazo en comparación al hormigón tradicional, mientras que el hormigón con adiciones de 5% y 10% de caucho y plastificante aumenta considerablemente el asentamiento, otorgando al hormigón una mejor trabajabilidad.

1.10 Propiedades del hormigón en estado endurecido

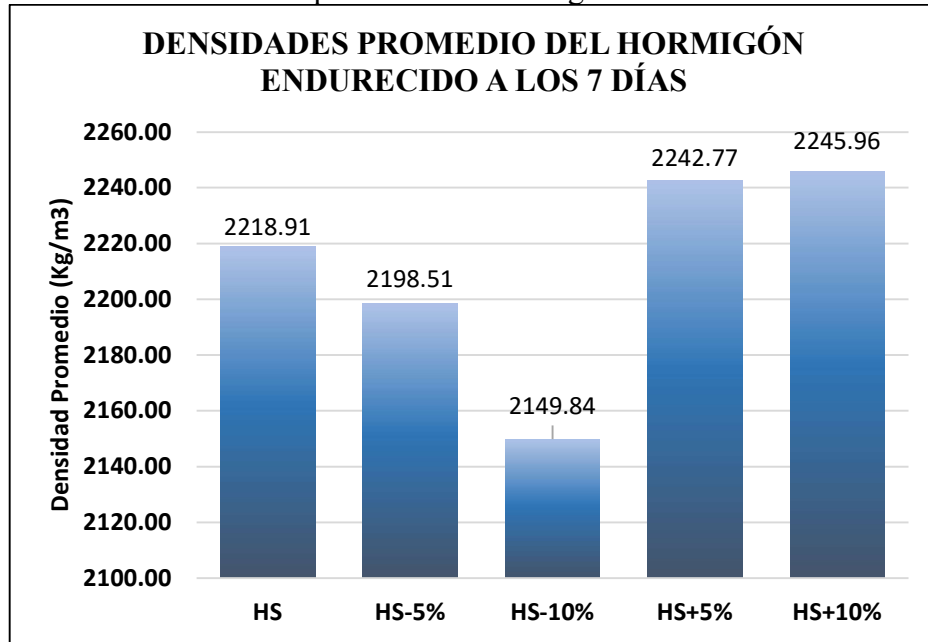
1.10.1 Densidad del hormigón en estado endurecido a los 7 días

Tabla 44: Densidad del hormigón endurecido a los 7 días.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
Tema: "Análisis comparativo del hormigón simple y el hormigón con fibras de caucho reciclado de neumáticos como reemplazo parcial del agregado fino y su influencia en la resistencia a la compresión"						
MUESTRA:	CILINDRO DE HORMIGÓN		FECHA:	29/12/2022 - 6/01/2023		
ENSAYADO POR:	ALEXIS LEÓN MERINO		NORMA:	NTE INEN 3124		
DENSIDAD DE HORMIGÓN ENDURECIDO A LOS 7 DÍAS						
Tipo Dosificación	Diámetro de cilindro (m)	Altura de cilindro (m)	Volumen de cilindro (m ³)	Peso de hormigón (Kg)	Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)
HS-0%	0.100	0.200	0.0016	3.469	2208.43	2218.91
	0.100	0.200	0.0016	3.501	2228.81	
	0.100	0.200	0.0016	3.486	2219.48	
HS-5%	0.100	0.200	0.0016	3.443	2191.88	2198.51
	0.100	0.200	0.0016	3.457	2200.79	
	0.100	0.200	0.0016	3.460	2202.84	
HS-10%	0.100	0.200	0.0016	3.379	2151.14	2149.84
	0.100	0.200	0.0016	3.356	2136.50	
	0.100	0.200	0.0016	3.396	2161.89	
HS+5%	0.100	0.200	0.0016	3.520	2240.58	2242.77
	0.100	0.200	0.0016	3.521	2241.54	
	0.100	0.200	0.0016	3.528	2246.18	
HS+10%	0.100	0.200	0.0016	3.528	2245.99	2245.96
	0.100	0.200	0.0016	3.519	2240.26	
	0.100	0.200	0.0016	3.537	2251.61	

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 12: Densidad promedio del hormigón endurecido a los 7 días.



Fuente: Elaboración Propia

Los datos de densidad del hormigón endurecido a los 7 días presentados en la gráfica 12, detallan que los valores de densidad de las dosificaciones de hormigón simple, hormigón reemplazado con el 5% de caucho y hormigón con el 5% y 10% de caucho adicional y aditivo plastificante pasan el valor mínimo de 2160 Kg/cm³ permitido por la normativa, por otra parte, la dosificación en la que se reemplaza el 10% de agregado fino por caucho tiene un valor inferior al mínimo, se debe a la extracción de agregado fino del hormigón

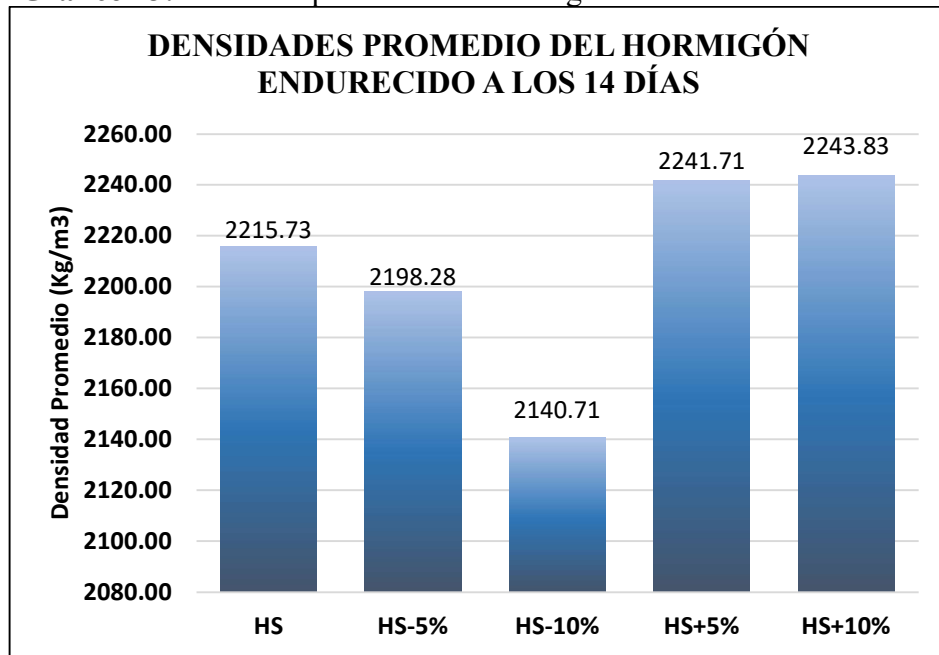
1.10.2 Densidad del hormigón en estado endurecido a los 14 días

Tabla 45: Densidad del hormigón endurecido a los 14 días.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
Tema: "Análisis comparativo del hormigón simple y el hormigón con fibras de caucho reciclado de neumáticos como reemplazo parcial del agregado fino y su influencia en la resistencia a la compresión"						
MUESTRA:	CILINDRO DE HORMIGÓN		FECHA:	05/01/2023 - 13/01/2023		
ENSAYADO POR:	ALEXIS LEÓN MERINO		NORMA:	NTE INEN 3124		
DENSIDAD DE HORMIGÓN ENDURECIDO A LOS 14 DÍAS						
Tipo Dosificación	Diámetro de cilindro (m)	Altura de cilindro (m)	Volumen de cilindro (m ³)	Peso de hormigón (Kg)	Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)
HS-0%	0.100	0.200	0.0016	3.472	2210.34	2215.73
	0.100	0.200	0.0016	3.480	2215.44	
	0.100	0.200	0.0016	3.489	2221.40	
HS-5%	0.100	0.200	0.0016	3.430	2183.61	2198.28
	0.100	0.200	0.0016	3.482	2216.71	
	0.100	0.200	0.0016	3.447	2194.52	
HS-10%	0.100	0.200	0.0016	3.374	2147.96	2140.71
	0.100	0.200	0.0016	3.323	2115.49	
	0.100	0.200	0.0016	3.391	2158.69	
HS+5%	0.100	0.200	0.0016	3.518	2239.63	2241.71
	0.100	0.200	0.0016	3.519	2240.26	
	0.100	0.200	0.0016	3.527	2245.23	
HS+10%	0.100	0.200	0.0016	3.524	2243.45	2243.83
	0.100	0.200	0.0016	3.517	2238.99	
	0.100	0.200	0.0016	3.533	2249.06	

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 13: Densidad promedio del hormigón endurecido a los 14 días.



Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar en la gráfica 13, los valores promedio de las densidades a los 14 días en sus diferentes dosificaciones presenta una tendencia similar al producido a los 7 días, pues la mayor densidad la poseen los especímenes fabricados con una adición de 5% y 10% de caucho y aditivo plastificante, por otra parte, se evidencia un decrecimiento en la densidad del hormigón simple y el hormigón con el 10% de reemplazo de agregado fino; siendo este último el único valor por debajo del límite permitido.

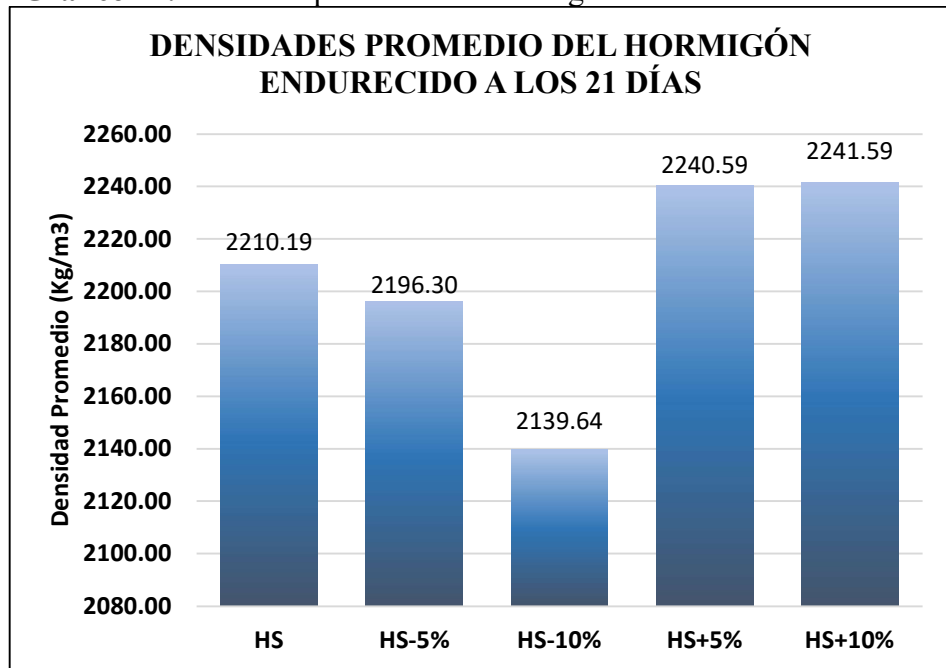
1.10.3 Densidad del hormigón en estado endurecido a los 21 días

Tabla 46: Densidad del hormigón endurecido a los 21 días.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
Tema: "Análisis comparativo del hormigón simple y el hormigón con fibras de caucho reciclado de neumáticos como reemplazo parcial del agregado fino y su influencia en la resistencia a la compresión"						
MUESTRA:	CILINDRO DE HORMIGÓN		FECHA:	12/01/2023 - 20/01/2023		
ENSAYADO POR:	ALEXIS LEÓN MERINO		NORMA:	NTE INEN 3124		
DENSIDAD DE HORMIGÓN ENDURECIDO A LOS 21 DÍAS						
Tipo Dosificación	Diámetro de cilindro (m)	Altura de cilindro (m)	Volumen de cilindro (m ³)	Peso de hormigón (Kg)	Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)
HS-0%	0.100	0.200	0.0016	3.463	2204.82	2210.19
	0.100	0.200	0.0016	3.471	2209.90	
	0.100	0.200	0.0016	3.481	2215.84	
HS-5%	0.100	0.200	0.0016	3.427	2181.64	2196.30
	0.100	0.200	0.0016	3.479	2214.72	
	0.100	0.200	0.0016	3.444	2192.55	
HS-10%	0.100	0.200	0.0016	3.372	2146.88	2139.64
	0.100	0.200	0.0016	3.321	2114.43	
	0.100	0.200	0.0016	3.389	2157.62	
HS+5%	0.100	0.200	0.0016	3.516	2238.51	2240.59
	0.100	0.200	0.0016	3.517	2239.14	
	0.100	0.200	0.0016	3.525	2244.10	
HS+10%	0.100	0.200	0.0016	3.520	2241.20	2241.59
	0.100	0.200	0.0016	3.513	2236.75	
	0.100	0.200	0.0016	3.529	2246.81	

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 14: Densidad promedio del hormigón endurecido a los 21 días.



Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en los datos de la tabla 46 y gráfica 14 las densidades del hormigón a los 21 días en estado endurecido cumplen con el límite mínimo permitido de 2160 Kg/m³ a excepción de la dosificación con el 10% de reemplazo de agregado fino cuyo valor está por debajo del hormigón simple, esto se debe a la sustitución del agregado fino por fibras de caucho. En general se puede observar el comportamiento similar a las densidades de los 7 y 14 días.

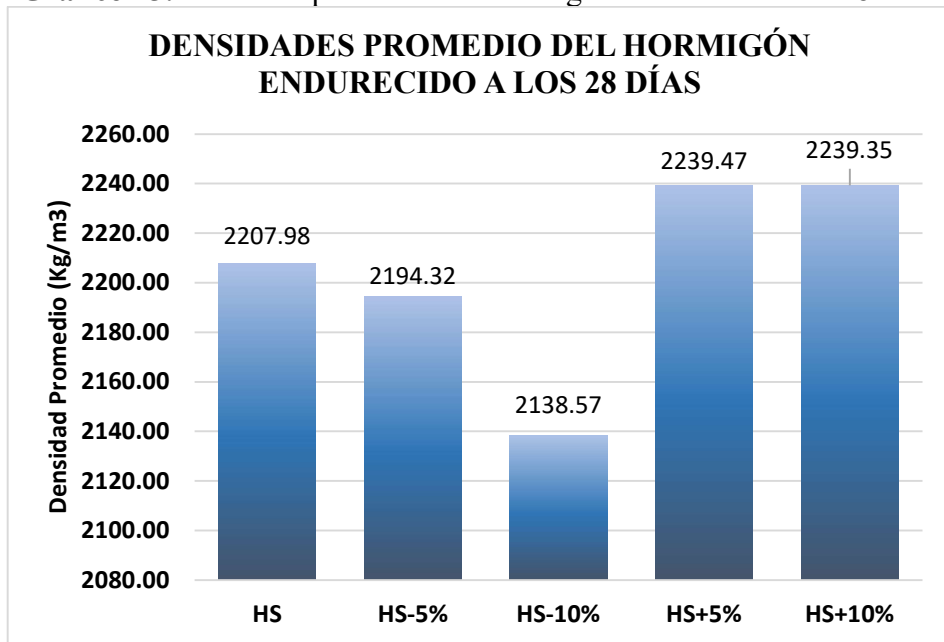
1.10.4 Densidad del hormigón en estado endurecido a los 28 días

Tabla 47: Densidad del hormigón endurecido a los 28 días.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
Tema: "Análisis comparativo del hormigón simple y el hormigón con fibras de caucho reciclado de neumáticos como reemplazo parcial del agregado fino y su influencia en la resistencia a la compresión"						
MUESTRA:	CILINDRO DE HORMIGÓN		FECHA:	19/01/2023 - 27/01/2023		
ENSAYADO POR:	ALEXIS LEÓN MERINO		NORMA:	NTE INEN 3124		
DENSIDAD DE HORMIGÓN ENDURECIDO A LOS 28 DÍAS						
Tipo Dosificación	Diámetro de cilindro (m)	Altura de cilindro (m)	Volumen de cilindro (m ³)	Peso de hormigón (Kg)	Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)
HS-0%	0.100	0.200	0.0016	3.460	2202.61	2207.98
	0.100	0.200	0.0016	3.468	2207.69	
	0.100	0.200	0.0016	3.477	2213.63	
HS-5%	0.100	0.200	0.0016	3.424	2179.68	2194.32
	0.100	0.200	0.0016	3.476	2212.72	
	0.100	0.200	0.0016	3.441	2190.58	
HS-10%	0.100	0.200	0.0016	3.371	2145.81	2138.57
	0.100	0.200	0.0016	3.320	2113.37	
	0.100	0.200	0.0016	3.387	2156.54	
HS+5%	0.100	0.200	0.0016	3.514	2237.39	2239.47
	0.100	0.200	0.0016	3.515	2238.03	
	0.100	0.200	0.0016	3.523	2242.98	
HS+10%	0.100	0.200	0.0016	3.517	2238.96	2239.35
	0.100	0.200	0.0016	3.510	2234.52	
	0.100	0.200	0.0016	3.526	2244.56	

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 15: Densidad promedio del hormigón endurecido a los 28 días.



Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 47 y gráfico 15 se presentan las diferentes densidades de las diversas dosificaciones de hormigón en los especímenes a los 28 días, es así como la dosificación de hormigón simple tiene un valor de 2207.98 Kg/cm³, las dosificaciones de hormigón con 5% y 10% de reemplazo de agregado fino con caucho, con densidades de 2194.32 Kg/cm³ y 2138.57 Kg/cm³, respectivamente, y por último las dosificaciones con una adición del 5% y 10% más aditivo plastificante, llegaron a una densidad de 2239.47 Kg/cm³ y 2239.35 Kg/cm³, respectivamente. Es de esta manera como se observa el comportamiento proporcional entre el reemplazo de agregado fino y la densidad del hormigón que se demuestra en el caso del hormigón con el 10% de reemplazo de agregado fino cuyo valor es inferior al rango permitido, por otra parte, las demás dosificaciones tienen una densidad superior a 2160 Kg/cm³, cumpliendo de esta manera con lo detallado en la normativa.

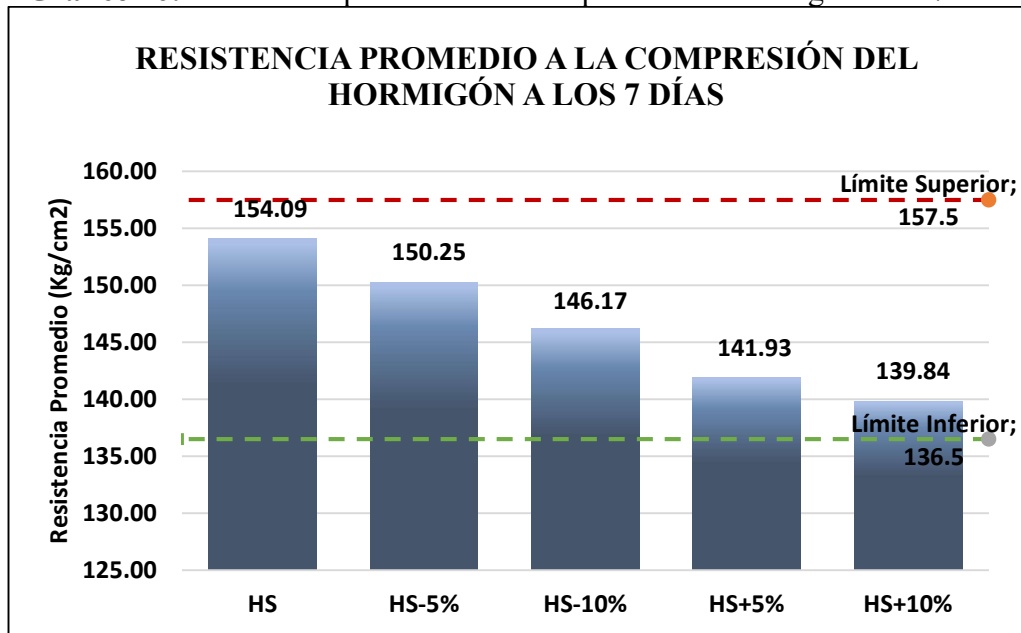
1.10.5 Resistencia a la compresión del hormigón a los 7 días

Tabla 48: Resistencia a la compresión del hormigón a los 7 días.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL							
Tema: "Análisis comparativo del hormigón simple y el hormigón con fibras de caucho reciclado de neumáticos como reemplazo parcial del agregado fino y su influencia en la resistencia a la compresión"							
MUESTRA:	CILINDRO DE HORMIGÓN			FECHA:	29/12/2022 - 6/01/2023		
ENSAYADO POR:	ALEXIS LEÓN MERINO			NORMA:	NTE INEN 1573		
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS							
Tipo Dosificación	Diámetro de cilindro (m)	Altura de cilindro (m)	Área de cilindro (m ²)	Carga (KN)	Resistencia Compresión (MPa)	Resistencia Compresión (Kg/cm ²)	Resistencia Compresión Promedio (Kg/cm ²)
HS-0%	0.100	0.200	0.0079	121.052	15.41	157.17	154.09
	0.100	0.200	0.0079	116.164	14.79	150.82	
	0.100	0.200	0.0079	118.829	15.13	154.28	
HS-5%	0.100	0.200	0.0079	117.593	14.97	152.68	150.25
	0.100	0.200	0.0079	113.391	14.44	147.22	
	0.100	0.200	0.0079	116.176	14.79	150.84	
HS-10%	0.100	0.200	0.0079	114.599	14.59	148.79	146.17
	0.100	0.200	0.0079	110.757	14.10	143.80	
	0.100	0.200	0.0079	112.387	14.31	145.92	
HS+5%	0.100	0.200	0.0079	109.649	13.96	142.36	141.93
	0.100	0.200	0.0079	109.394	13.93	142.03	
	0.100	0.200	0.0079	108.899	13.87	141.39	
HS+10%	0.100	0.200	0.0079	107.578	13.70	139.67	139.84
	0.100	0.200	0.0079	108.032	13.76	140.26	
	0.100	0.200	0.0079	107.511	13.69	139.59	

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 16: Resistencia promedio a la compresión del hormigón a los 7 días



Fuente: Elaboración Propia

En los datos presentados en la tabla 48 y su respectiva gráfica 16 acerca de la resistencia a la compresión del hormigón a una edad de 7 días se observa que dichos valores en todas sus dosificaciones se encuentran en un rango de 136.5 Kg/cm² a 157.5 Kg/cm², donde se evidencia que el valor de resistencia del hormigón simple, 154.09 Kg/cm², es el mayor, seguido de la dosificación de hormigón con reemplazo de agregado fino por fibras de caucho en un 5% y 10%, cuyos valores son de 150.25 Kg/cm² y 146.17 Kg/cm², por último se encuentran las dosificación con adición de fibras de caucho en un 5% y 10% y aditivo plastificante con valores de 141.93 Kg/cm² y 139.84 Kg/cm², respectivamente.

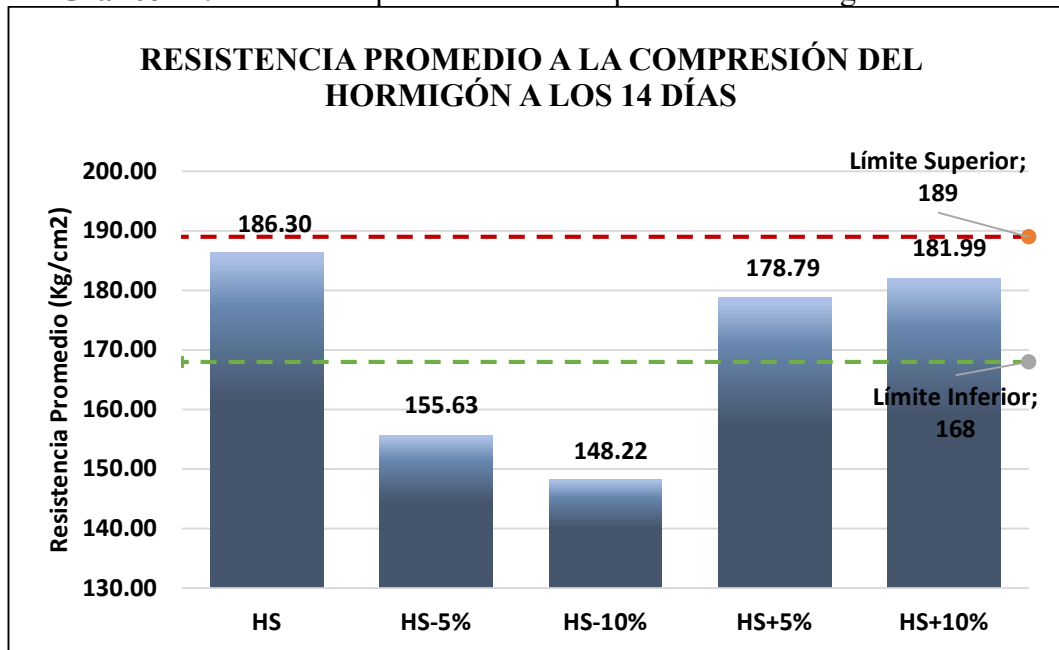
1.10.6 Resistencia a la compresión del hormigón a los 14 días

Tabla 49: Resistencia a la compresión del hormigón a los 14 días.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL							
Tema: "Análisis comparativo del hormigón simple y el hormigón con fibras de caucho reciclado de neumáticos como reemplazo parcial del agregado fino y su influencia en la resistencia a la compresión"							
MUESTRA:	CILINDRO DE HORMIGÓN			FECHA:	12/01/2023 - 20/01/2023		
ENSAYADO POR:	ALEXIS LEÓN MERINO			NORMA:	NTE INEN 1573		
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 21 DÍAS							
Tipo Dosificación	Diámetro de cilindro (m)	Altura de cilindro (m)	Área de cilindro (m ²)	Carga (KN)	Resistencia Compresión (MPa)	Resistencia Compresión (Kg/cm ²)	Resistencia Compresión Promedio (Kg/cm ²)
HS-0%	0.100	0.200	0.0079	157.891	20.10	205.00	205.24
	0.100	0.200	0.0079	158.074	20.13	205.24	
	0.100	0.200	0.0079	158.276	20.15	205.50	
HS-5%	0.100	0.200	0.0079	122.168	15.55	158.62	158.16
	0.100	0.200	0.0079	121.566	15.48	157.83	
	0.100	0.200	0.0079	121.714	15.50	158.03	
HS-10%	0.100	0.200	0.0079	115.212	14.67	149.59	149.33
	0.100	0.200	0.0079	114.653	14.60	148.86	
	0.100	0.200	0.0079	115.176	14.66	149.54	
HS+5%	0.100	0.200	0.0079	151.733	19.32	197.00	197.24
	0.100	0.200	0.0079	151.913	19.34	197.24	
	0.100	0.200	0.0079	152.111	19.37	197.49	
HS+10%	0.100	0.200	0.0079	147.698	18.81	191.76	191.47
	0.100	0.200	0.0079	147.874	18.83	191.99	
	0.100	0.200	0.0079	146.845	18.70	190.66	

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 17: Resistencia promedio a la compresión del hormigón a los 14 días



Fuente: Elaboración Propia

Los valores que se muestran en la tabla 49 y grafica 17, se obtienen del ensayo de compresión de cilindros de hormigón una edad de 14 días en el que se puede observar las tres dosificaciones que cumplen con el rango de 168 Kg/cm² a 189 Kg/cm², la primera es el valor más alto de resistencia que corresponde al hormigón simple, 186.30 Kg/cm², conjuntamente con los valores de las dosificaciones con adición de fibras de caucho en un 5% y 10% y aditivo plastificante con valores de 178.79 Kg/cm² y 181.99 Kg/cm², respectivamente, por otra parte las dosificaciones de hormigón con reemplazo de agregado fino por fibras de caucho en un 5% y 10%, cuyos valores son de 155.63 Kg/cm² y 148.22 Kg/cm², se encuentran entre el 8% y el 12% por debajo del límite inferior, por lo tanto el hormigón no cumple con las características para las que fue diseñado.

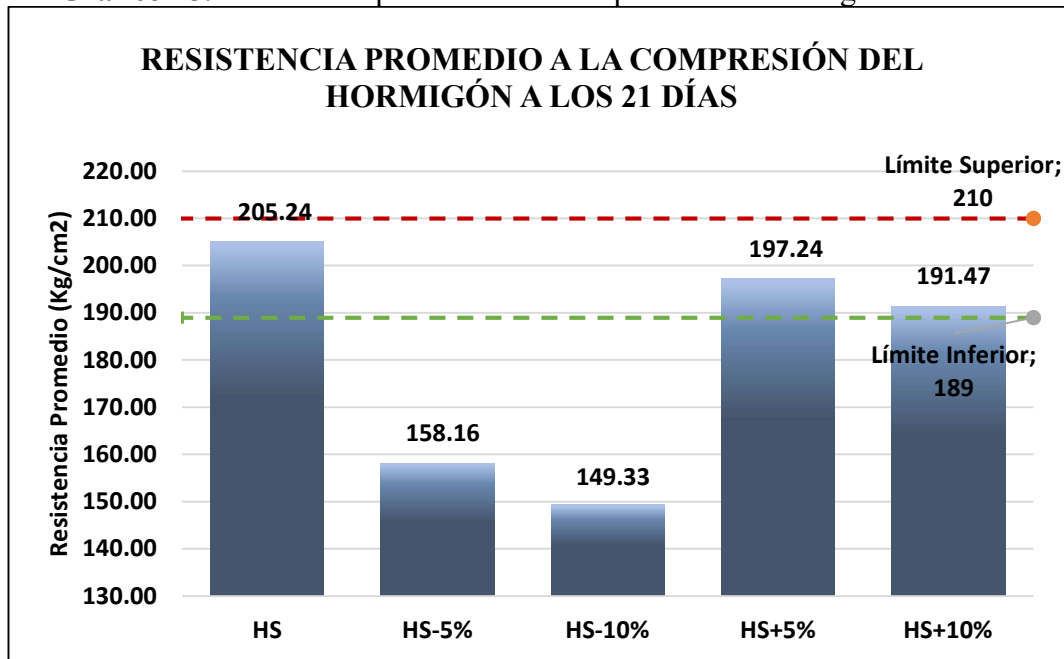
1.10.7 Resistencia a la compresión del hormigón a los 21 días

Tabla 50: Resistencia a la compresión del hormigón a los 21 días.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL							
Tema: "Análisis comparativo del hormigón simple y el hormigón con fibras de caucho reciclado de neumáticos como reemplazo parcial del agregado fino y su influencia en la resistencia a la compresión"							
MUESTRA:	CILINDRO DE HORMIGÓN			FECHA:	12/01/2023 - 20/01/2023		
ENSAYADO POR:	ALEXIS LEÓN MERINO			NORMA:	NTE INEN 1573		
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 21 DÍAS							
Tipo Dosificación	Diámetro de cilindro (m)	Altura de cilindro (m)	Área de cilindro (m ²)	Carga (KN)	Resistencia Compresión (MPa)	Resistencia Compresión (Kg/cm ²)	Resistencia Compresión Promedio (Kg/cm ²)
HS-0%	0.100	0.200	0.0079	157.891	20.10	205.00	205.24
	0.100	0.200	0.0079	158.074	20.13	205.24	
	0.100	0.200	0.0079	158.276	20.15	205.50	
HS-5%	0.100	0.200	0.0079	122.168	15.55	158.62	158.16
	0.100	0.200	0.0079	121.566	15.48	157.83	
	0.100	0.200	0.0079	121.714	15.50	158.03	
HS-10%	0.100	0.200	0.0079	115.212	14.67	149.59	149.33
	0.100	0.200	0.0079	114.653	14.60	148.86	
	0.100	0.200	0.0079	115.176	14.66	149.54	
HS+5%	0.100	0.200	0.0079	151.733	19.32	197.00	197.24
	0.100	0.200	0.0079	151.913	19.34	197.24	
	0.100	0.200	0.0079	152.111	19.37	197.49	
HS+10%	0.100	0.200	0.0079	147.698	18.81	191.76	191.47
	0.100	0.200	0.0079	147.874	18.83	191.99	
	0.100	0.200	0.0079	146.845	18.70	190.66	

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 18: Resistencia promedio a la compresión del hormigón a los 21 días



Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 50 y gráfica 18 se detallan los datos obtenidos en el ensayo a compresión de los cilindros de hormigón a los 21 días de edad y mostrados en la tabla y su respectivo gráfico indican valores de las tres dosificaciones que cumplen con el rango de 168 Kg/cm² a 189 Kg/cm², la primera es el mayor valor de resistencia del hormigón simple, 205.24 Kg/cm², seguido de las dosificaciones con adición de fibras de caucho en un 5% y 10% y aditivo plastificante con valores de 197.24 Kg/cm² y 191.47 Kg/cm², respectivamente, por otra parte las dosificaciones de hormigón con reemplazo de agregado fino por fibras de caucho en un 5% y 10%, cuyos valores son de 158.16 Kg/cm² y 149.33 Kg/cm², se encuentran entre el 17% y el 21% por debajo del límite inferior, por lo que se puede corroborar que el caucho reciclado disminuye la resistencia del hormigón.

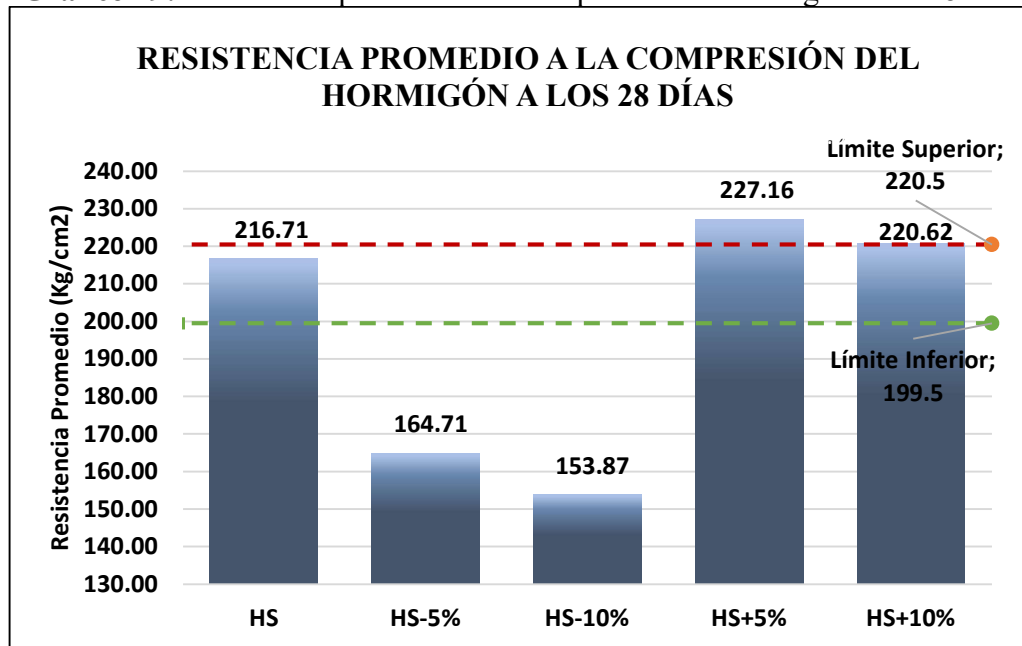
1.10.8 Resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días

Tabla 51: Resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL							
Tema: "Análisis comparativo del hormigón simple y el hormigón con fibras de caucho reciclado de neumáticos como reemplazo parcial del agregado fino y su influencia en la resistencia a la compresión"							
MUESTRA:	CILINDRO DE HORMIGÓN			FECHA:	19/01/2023 - 27/01/2023		
ENSAYADO POR:	ALEXIS LEÓN MERINO			NORMA:	NTE INEN 1573		
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS							
Tipo Dosificación	Diámetro de cilindro (m)	Altura de cilindro (m)	Área de cilindro (m ²)	Carga (KN)	Resistencia Compresión (MPa)	Resistencia Compresión (Kg/cm ²)	Resistencia Compresión Promedio (Kg/cm ²)
HS-0%	0.100	0.200	0.0079	167.255	21.30	217.15	216.71
	0.100	0.200	0.0079	165.945	21.13	215.45	
	0.100	0.200	0.0079	167.548	21.33	217.54	
HS-5%	0.100	0.200	0.0079	127.114	16.18	165.04	164.71
	0.100	0.200	0.0079	126.894	16.16	164.75	
	0.100	0.200	0.0079	126.573	16.12	164.34	
HS-10%	0.100	0.200	0.0079	118.751	15.12	154.18	153.87
	0.100	0.200	0.0079	117.821	15.00	152.97	
	0.100	0.200	0.0079	118.959	15.15	154.45	
HS+5%	0.100	0.200	0.0079	175.266	22.32	227.56	227.16
	0.100	0.200	0.0079	174.696	22.24	226.82	
	0.100	0.200	0.0079	174.927	22.27	227.12	
HS+10%	0.100	0.200	0.0079	169.853	21.63	220.53	220.62
	0.100	0.200	0.0079	170.056	21.65	220.79	
	0.100	0.200	0.0079	169.871	21.63	220.55	

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 19: Resistencia promedio a la compresión del hormigón a los 28 días

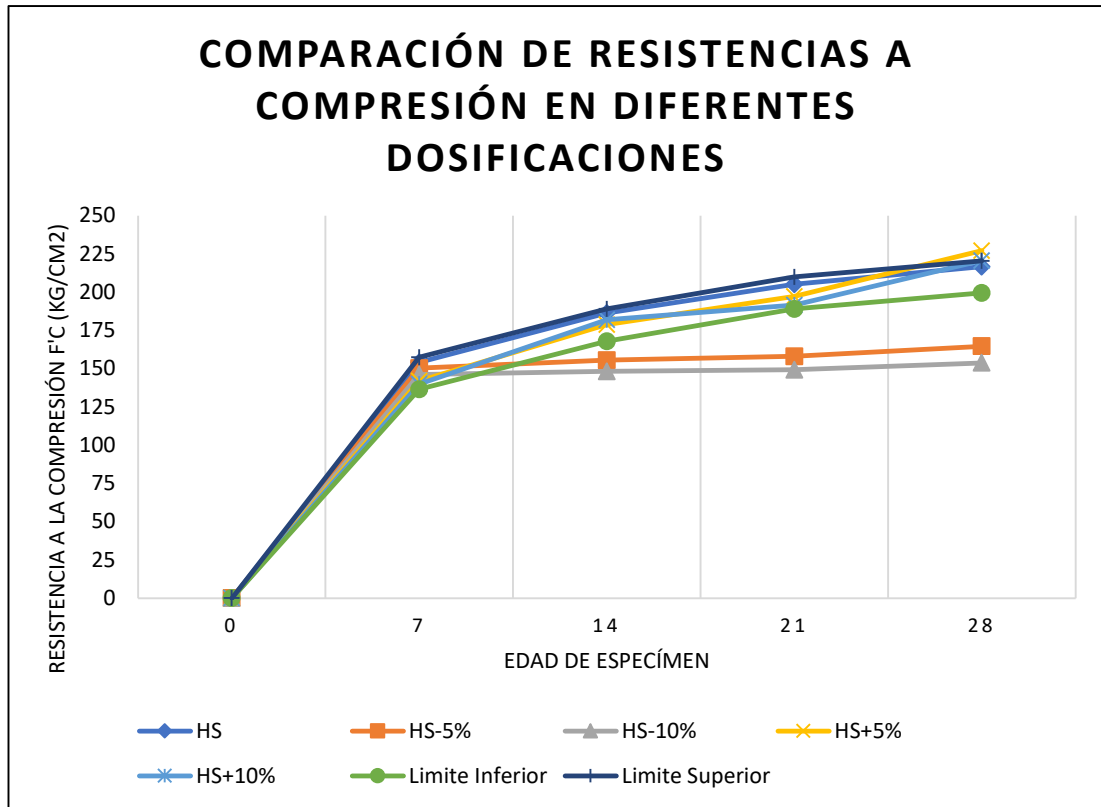


Fuente: Elaboración Propia

En los valores que se presentan en la tabla 51 y gráfica 19 que pertenecen a especímenes ensayados a los 28 días de edad, en los que se puede observar, tras el ensayo pertinente y basado en la normativa correspondiente, que el hormigón con 5% de adición de fibras de caucho y plastificante, con un valor de 227.16 Kg/cm², supera en un 3% al límite superior (220.5 Kg/cm²) del hormigón, seguido de la dosificación que añade un 10% de caucho a la mezcla con un valor de 220.62 Kg/cm² que representa un excedente cercano al 1% y por último el hormigón simple con una resistencia final de 216.71 Kg/cm² está dentro del rango establecido. Por otra parte, el hormigón con un reemplazo de 5% y 10% de agregado fino por fibras de caucho tienen una disminución de resistencia del 22% y 27%, respectivamente, esto demuestra que el reemplazo del agregado fino

1.10.9 Comparación de resistencia a la compresión del hormigón en diferentes edades y dosificaciones.

Gráfico 20: Comparación de resistencias a la compresión en diferentes dosificaciones.



Fuente: Elaboración Propia

1.11 Validación de la hipótesis

Hipótesis

El reemplazo parcial del agregado fino por fibras de caucho reciclado de neumáticos influye en la resistencia a la compresión del hormigón, a través de ensayos según la norma NTE INEN 1573.

Verificación

Tras haberse realizado los ensayos necesarios y siguiendo los parámetros establecidos por la respectiva normativa nacional e internacional se determina que mientras mayor sea el porcentaje de reemplazo parcial del agregado fino provoca la disminución de la resistencia a la compresión final del hormigón.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1.12 Conclusiones

Se determinó que las probetas que contienen el 5% y 10% remplazo parcial del agregado fino presentan menor densidad con un valor de 2194.32kg/m^3 y 2138.57Kg/m^3 , respectivamente, a comparación de las probetas de hormigón normal, con una densidad de 2207.98Kg/m^3 , evidenciando de esta manera una disminución del 1 al 4% de la densidad del hormigón endurecido a los 28 días, esto quiere decir que mientras más agregados finos se reemplace, menor resistencia tendrá el hormigón. Por otra parte, las dosificaciones que añaden un 5% y 10% de fibras de caucho al hormigón y 2% de aditivo plastificante tienen un aumento en su densidad cerca al 1% en comparación con el hormigón simple.

Mediante los ensayos de los especímenes del hormigón en la maquina a compresión, se evidenció varios tipos de falla mostrados en los Anexos, sobresaliendo las de tipo III y tipo I en su mayoría, por lo cual, se determina que dependiendo la dosificación del hormigón se presentaron distintos tipos de niveles de fallas, por otro lado, se observó que el hormigón con remplazo parcial del agregado fino presentó más fallas pronunciadas en comparación a los ensayos del hormigón normal, por lo tanto, se concluye que al reemplazar el caucho por agregado fino la resistencia disminuye significativamente dando lugar al incremento en el nivel de fallas.

En cuanto a la resistencia a la compresión se concluye que las probetas que contienen el caucho como remplazo del agregado fino en una cantidad de 5% y 10%, presentaron una reducción significativa de la resistencia que va en un rango del 24% hasta el 29%, dando como resultado una resistencia de 164.71Kg/cm^2 y 153.87Kg/cm^2 , respectivamente, a diferencia de las probetas que contenían el hormigón normal, con una resistencia de 216.71Kg/cm^2 , razón por la cual no aporta beneficio alguno en la elaboración del hormigón para incremento de resistencia; sin embargo, se probó una dosificación diferente, esta consistió en no reemplazar el agregado fino y añadir 5% y 10% de fibras de caucho por peso del hormigón más un 2% aditivo plastificante por peso de cemento, que dio como resultado una resistencia a la

compresión de 227.16 Kg/cm² y 220.62 Kg/cm², respectivamente, de este modo se observó un incremento de resistencia mayor que la del hormigón normal en un rango entre 1% y 5%

En definitiva, se concluye que el caucho es un buen aliado si lo que se desea es incrementar resistencia siempre que se lo utilice como agregado extra acompañado de un aditivo plastificante, caso contrario, este producto puede causar el efecto contrario, puede llegar a ocasionar la reducción de la resistencia del hormigón hasta en un 50%.

1.13 Recomendaciones

Se recomienda para futuras investigaciones ampliar el tema de investigación a profundidad y proporcionar mayor información en cuanto a la resistencia a diferentes propiedades mecánicas del hormigón y con esto ampliar los usos que se le puede brindar al caucho en la construcción ya que la adición de este material en es una buena alternativa que también contribuye al medio ambiente, sin embargo, es un tema poco estudiado y suele haber confusión en cuanto a su uso y aplicación.

Realizar estudios y análisis más extensos y profundos en cuanto al comportamiento del caucho bajo distintos parámetros, como el tiempo de fraguado, permeabilidad y dosificaciones para determinar el comportamiento de las fibras de caucho como reemplazo bajo diversas situaciones, además determinar ventajas y desventajas de su aplicación en materiales estructurales en distintos ambientes climáticos.

Así también se recomienda investigar y realizar análisis a fondo sobre la capacidad sismo resistente que aporta este material bajo diferentes eventos sísmicos y en lugares con fallas geológicas dónde existan construcciones ya que son lugares donde se requiere mayor resistencia.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Á. Nistal, M. Retana y T. Ruiz, «El Hormigón: Historia, antecedentes en obras y factores indicativos de su resistencia.,» *Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente*, vol. X, pp. 3-16, Junio 2012.
- [2] M. Farfan y E. Leonardo, «Caucho reciclado en la resistencia a la compresión y flexión de concreto modificado con aditivo plastificante,» *Revista Ingeniería de Construcción*, vol. 33, nº 3, pp. 241-250, 2018.
- [3] G. Peláez, S. Velásquez y D. Giraldo, «Aplicaciones de caucho reciclado: Una revisión de la literatura,» *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 27, nº 2, pp. 27-49, 2017.
- [4] G. Peláez, S. Velásquez y D. Giraldo, «Aplicaciones de Caucho Reciclado: Una revisión de la literatura,» *Revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 27, nº 2, pp. 27-50, 2017.
- [5] M. Robayo, «Análisis comparativo entre hormigón tradicional y horigón con fibras de acero y caucho reciclado bajo diferentes dosificaciones,» *Dominio de las Ciencias* , vol. 8, nº 2, pp. 1315-1333, 2022.
- [6] L. Chimborazo, E. Caisa y R. Miranda, «Trituración de neumáticos reciclados como desencadenantes en los procesos industriales en la provincia de Tungurahua,» *Revista Publicando*, vol. 2, nº 12, pp. 427-439, 2017.
- [7] C. Issa y G. Salem, «Utilization of recycled crum rubber as fine aggregates in concrete mix design,» *Construction and Building Materials*, vol. 42, pp. 48-52, 2013.

- [8] Á. Nistal, M. Retana y T. Ruíz, «El Hormigón: Historia, antecedentes en obras y factores indicativos de su resistencia,» *Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente*, vol. 10, 2012.
- [9] Á. García, F. Morán y J. Arroyo, Jiménez Montoya: Hormigón Armado, Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2008.
- [10] S. Medina, Ensayo de Materiales II, Ambato, 2013, pp. 30-36.
- [11] I. y. APRHOPEC, El Manual de Pepe Hormigón: Consejos prácticos sobre el hormigón, Quito, 2007.
- [12] A. Villarino, Ciencia y tecnología de los materiales: El cemento, Salamanca: Universidad de Salamanca, 2009.
- [13] Instituto Ecuatoriano de Normalización, NTE INEN 152: Cemento Portland. Requisitos, Quito, 2012.
- [14] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «NTE INEN 2380: Cemento Hidráulico. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos.,» Quito, 2011.
- [15] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «NTE INEN 490: Cementos hidráulicos compuestos. Requisitos.,» Quito, 2011.
- [16] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «NTE INEN 156: Cemento Hidráulico. Determinación de la densidad.,» Quito, 2009.
- [17] L. Gozález , Conceptos Generales sobre los agregados, Palmira: Universidad Nacional de Colombia, 2008.
- [18] E. S. CEAC, Materiales para la construcción: Enciclopedia CEAC del encargado de obra, Madrid: Editorial Ediciones S.A. CEAC, 2007.

- [19] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «NTE INEN 696: Áridos. Análisis Granulométrico en los áridos, Fino y Grueso.,» Quito, 2011.
- [20] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «NTE INEN 872: Áridos para Hormigón. Requisitos.,» Quito, 2011.
- [21] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «NTE INEN 858: Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos.,» Quito, 2010.
- [22] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «NTE INEN 856: Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (Gravedad específica y absorción del árido fino.,» Quito, 2010.
- [23] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «NTE INEN 857: Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (Gravedad específica y absorción del árido grueso.,» Quito, 2010.
- [24] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «NTE INEN 862: Áridos para Hormigón. Determinación del contenido total de humedad.,» Quito, 2011.
- [25] I. Amórtegui, El cultivo del caucho, Ibagué: EL POIRA, 2001.
- [26] L. Cardona y L. Sánchez, «Aprovechamiento de llantas usadas para la fabricación de pisos decorativos,» [Tesis de maestría] Repositorio Universidad de Medellín, 2011.
- [27] J. Santamaría, L. Morales y J. Pilaluisa, «Modelo para dosificación de mezclas de hormigón utilizando lógica difusa,» *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, vol. 1, nº 1, pp. 54-61, 2018.

- [28] Instituto Ecuatoriano de Normalización, NTE INEN 1573: Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico., Quito, 2010.
- [29] R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado y M. d. P. Baptista Lucio, Metodología de la Investigación, Sexta Edición ed., México: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2014.
- [30] D. Behar Rivero, Metodología de la Investigación, Shalom, 2008.
- [31] Unión Andina de Cementos (UNACEM), «Ficha Técnica: Cemento Selvalegre,» Quito, 2016.
- [32] J. Toirac, «Caracterización granulométrica de las plantas productoras de arena en la república dominicana, su impacto en la calidad y costo del hormigón,» *Revista Ciencia y Sociedad*, vol. XXXVII, nº 3, pp. 293-334, 2012.
- [33] G. Guevara, C. Hidalgo, M. Pizarro, I. Rodríguez, L. Rojas y G. Segura, «Efecto de la variación agua/cemento en el concreto,» *Tecnología en marcha* , vol. 25, nº 2, pp. 80-86, 2012.
- [34] A. Nazer, A. Honores, P. Chulak y O. Pavez, «Hormigón sustentable basado en fibras de neumáticos fuera de uso,» *Contaminación Ambiental*, vol. 35, nº 3, pp. 723-729, 2019.
- [35] SIKA., «Hoja Técnica del Producto: Plastocrete 161 HE,» Quito, 2014.
- [36] Ó. Andachi, «Estudio del módulo de elasticidad estático del hormigón en base a su resistencia a la compresión fabricado con materiales de las minas: la playa, ubicada en el cantón Salcedo provincia de Cotopaxi y Salvador, ubicada en el cantón Ambato,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2020.

- [37] Instituto Ecuatoriano de Normalización, NTE INEN 3124: Hormigón. Elaboración y curado de especímenes de ensayo en el laboratorio., Quito, 2017.
- [38] A. Martínez y P. Caiza, «Fabricación de hormigones livianos con materiales volcanoclásticos (Lapilli) y su influencia en la reducción de fuerzas sísmicas,» *Revista Ciencia*, vol. 17, nº 1, p. 23, 2015.
- [39] M. Zarza, R. Vargas, M. Acevedo y B. Herazo, «Ensayo de compresión de probetas de cilindro,» *Universidad Tecnológica de Bolívar*, 2018.

ANEXOS

Anexos Fotográficos

Agregados	
 	 
Fotografía 1: Ripio.	Fotografía 2: Arena para hormigón.
	
Fotografía 3: Cemento Selvalegre de Tipo IP.	Fotografía 4: Secado de agregados en bandejas metálicas.

Granulometría de los Agregados



Fotografía 5: Granulometría del agregado fino (arena)



Fotografía 6: Granulometría del agregado grueso (ripio).

Densidad de los Agregados



Fotografía 7: Densidad aparente suelta del agregado grueso.



Fotografía 8: Densidad aparente suelta del agregado fino.



Fotografía 9: Densidad aparente compactada del agregado grueso.



Fotografía 10: Densidad aparente compactada del agregado fino.

Ensayo de Cono de Abrams



Fotografía 11: Cono de Abrams para ensayar.



Fotografía 12: Fibras de caucho de neumáticos de 2mm a 4mm.



Fotografía 13: Primer ensayo de asentamiento con el Cono de Abrams (hormigón simple).



Fotografía 14: Medición del asentamiento del hormigón simple con el Cono de Abrams (vertido de hormigón, levantamiento de molde, medición y registro del asentamiento).



Fotografía 15: Segundo ensayo de asentamiento con el Cono de Abrams (hormigón con fibras de caucho al 5%).



Fotografía 16: Medición del asentamiento del hormigón con fibras de caucho al 5%, con el Cono de Abrams (vertido de hormigón, levantamiento de molde, medición y registro del asentamiento).



Fotografía 17: Tercer ensayo de asentamiento con el Cono de Abrams (hormigón con fibras de caucho al 10%).



Fotografía 18: Medición del asentamiento del hormigón con fibras de caucho al 10%, con el Cono de Abrams (vertido de hormigón, levantamiento de molde, medición y registro del asentamiento).

Elaboración de los Cilindros de Hormigón



Fotografía 19: Cilindros metálicos de 10cm de diámetro por 20cm de alto.



Fotografía 20: Preparación de los cilindros metálicos (limpieza y engrasado).

Elaboración de muestras de Hormigón Simple



Fotografía 21: Preparación de equipos y materiales para la elaboración del hormigón simple (concretera, fuentes, bailejo, bandejas, varilla de compactación, martillo de goma, cantidades de los agregados, cemento y agua).



Fotografía 22: Introducción de los materiales en la concretara para la preparación de la mezcla del hormigón simple.



Fotografía 23: Obtención de la mezcla de hormigón simple.



Fotografía 24: Toma de muestra de hormigón simple en cilindros.

Elaboración de muestras de Hormigón con fibras de caucho al 5%



Fotografía 25: Preparación de equipos y materiales para la elaboración del hormigón con fibras de caucho al 5% (concretera, fuentes, bailejo, bandejas, varilla de compactación, martillo de goma, cantidades de los agregados, cemento, fibras de caucho y agua).



Fotografía 26: Introducción de los materiales en la concretera para la preparación de la mezcla del hormigón con fibras de caucho al 5%.



Fotografía 27: Obtención de la mezcla de hormigón con fibras de caucho al 5%.



Fotografía 28: Toma de muestra de hormigón con fibras de caucho al 5% en cilindros.

Elaboración de muestras de hormigón con fibras de caucho al 10%



Fotografía 29: Preparación de equipos y materiales para la elaboración del hormigón con fibras de caucho al 10% (concretera, fuentes, bailejo, bandejas, varilla de compactación, martillo de goma, cantidades de los agregados, cemento, fibras de caucho y agua).



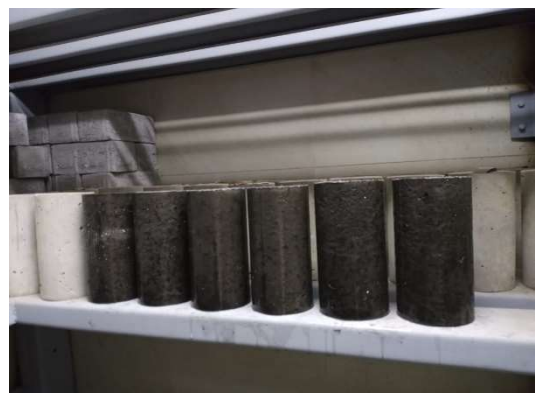
Fotografía 30: Introducción de los materiales en la concretera para la preparación de la mezcla del hormigón con fibras de caucho al 10%.



Fotografía 31: Obtención de la mezcla de hormigón con fibras de caucho al 10%.



Fotografía 32: Registro de pesos del hormigón fresco y posterior desencofrado de los cilindros.



Fotografía 33: Curado de cilindros de hormigón.

Fotografía 34: Retiro y secado de cilindros de la cámara de curado.



Fotografía 35: Peso de cilindros de hormigón seco.

Ensayo a compresión hormigón simple



Fotografía 36: Ensayo a compresión del hormigón simple.



Fotografía 37: Esquema de falla del hormigón simple.



Fotografía 38: Cilindros de hormigón simple ensayados.

Ensayo a compresión con fibras de caucho al 5%



Fotografía 39: Ensayo a compresión del hormigón con fibras de caucho al 5 y 10%.



Fotografía 40: Esquema de falla del hormigón con fibras de caucho al 5 y 10%.



Fotografía 41: Cilindros de hormigón con fibras de caucho al 5 y 10% ensayados.