



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DISEÑO DE HORMIGÓN SUSTENTABLE CON FIBRAS DE CAUCHO
DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO CON UNA RESISTENCIA DE
24 MPA.

Trabajo de titulación previo a la obtención
del título de Ingeniera Civil

AUTORAS: KELLY EDUARDA CABRERA BERREZUETA
DANIELA PATRICIA PEÑAFIEL CELI

TUTOR: ING. FERNANDO RENÉ CÁRDENAS ÁLVAREZ, MSc.

Cuenca – Ecuador

2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotras, Kelly Eduarda Cabrera Berrezueta con documento de identificación N° 0106398902 y Daniela Patricia Peñafiel Celi con documento de identificación N° 0150075406; manifestamos que:

Somos las autoras y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 24 de julio del 2023

Atentamente,



Kelly Eduarda Cabrera Berrezueta
0106398902



Daniela Patricia Peñafiel Celi
0150075406

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotras, Kelly Eduarda Cabrera Berrezueta con documento de identificación N° 0106398902 y Daniela Patricia Peñafiel Celi con documento de identificación N° 0150075406, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autoras del Proyecto de Investigación: "Diseño de hormigón sustentable con fibras de caucho de neumáticos fuera de uso con una resistencia de 24 MPa", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 24 de julio del 2023

Atentamente,



Kelly Eduarda Cabrera Berrezueta
0106398902



Daniela Patricia Peñafiel Celi
0150075406

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Fernando René Cárdenas Álvarez, con documento de identificación N° 0102086592, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE HORMIGÓN SUSTENTABLE CON FIBRAS DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO CON UNA RESISTENCIA DE 24 MPA, realizado por Kelly Eduarda Cabrera Berrezueta con documento de identificación N° 0106398902 y Daniela Patricia Peñafiel Celi con documento de identificación N° 0150075406, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción PROYECTO DE INVESTIGACIÓN que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 24 de julio del 2023

Atentamente,



Ing. Fernando René Cárdenas Álvarez, MSc
0102086592

Dedicatoria

Kelly Eduarda

El presente proyecto de titulación está dedicado:

A Dios, quien ha sido mi guía y fortaleza para llegar a cumplir cada uno de mis sueños y anhelos.

A mi pilar fundamental, mis padres Jorge y Mónica, mis hermanos Any y Toño, quienes han formado la persona que soy el día de hoy, con su apoyo, paciencia, amor y esfuerzo incondicional, me han motivado a seguir adelante a pesar de cada tropiezo hasta cumplir todas mis aspiraciones, de igual manera a mis abuelitos, tíos y demás familia.

A mi enamorado Fernando por su compañía, cariño, amor, apoyo y ayuda incondicional ha sido un soporte en esta etapa.

Finalmente, dedico este trabajo a mis amigos, quienes formaron parte de este logro.

Daniela Patricia

Quiero dedicar este trabajo primeramente a Dios por permitirme cumplir esta meta, por brindarme salud y fuerzas para salir adelante.

A mis padres Hortencia y Patricio, quienes siempre han confiado en mí, por ser un pilar fundamental en mi vida, por sus consejos, su amor incondicional, por inculcarme valores que me han permitido cumplir mis objetivos y por motivarme a siempre cumplir mis sueños.

A mi hermano Pablo, quien ha sido mi mejor compañía durante toda esta etapa, por estar siempre presente, por su apoyo y por ser mi mayor inspiración para salir adelante.

A mis tíos y primos por brindarme su apoyo y cariño.

Finalmente, a mi abuelita quien desde el cielo me ilumina y me acompaña en cada etapa de mi vida.

Agradecimientos

Kelly Eduarda

Gracias a Dios, por permitirme llegar a cumplir esta meta, por darme la sabiduría, fuerza y perseverancia.

Agradezco profundamente a mis padres Mónica y Jorge que, gracias a su esfuerzo, amor, apoyo, he logrado una aspiración que me he propuesto.

Y finalmente agradezco a las personas que han estado presentes a lo largo de esta etapa de manera especial, a mi enamorado, abuelos, amigos, conocidos y docentes, gracias por alentarme a continuar a pesar de las caídas que puede haber durante el proceso.

Daniela Patricia

Gracias a Dios quien me ha guiado y me ha brindado salud y fortaleza para salir adelante.

Agradezco a mis papás por todo su esfuerzo y darme la oportunidad de cumplir esta meta.

Agradezco a mi hermano, tíos, primos y demás familia que formaron parte de esta etapa.

Resumen

Este presente trabajo titulado “Diseño de hormigón sustentable con fibras de caucho de neumáticos fuera de uso con una resistencia de 24 MPa” se enfoca en la investigación y desarrollo de una dosificación de hormigón que incorpora el caucho reciclado como uno de sus componentes. El objetivo principal de esta investigación es lograr la resistencia propuesta de 24 MPa, así como evaluar su desempeño con el hormigón testigo.

Se trata de un estudio experimental que consistió en realizar pruebas de resistencia en muestras de hormigón, por lo tanto, se diseñaron varias mezclas de hormigón con diferentes proporciones de caucho reciclado y se fabrican especímenes para realizar pruebas de resistencia a la compresión dando como resultado que el 10% del volumen del agregado fino sustituido por caucho es el más conveniente.

Los resultados de las pruebas de resistencia muestran que el hormigón testigo a los 7 días alcanzo una resistencia de 20.9 MPa y a los 28 días de 30 MPa, mientras que el hormigón con el 10% de caucho de neumáticos fuera de uso a los 7 días obtuvo una resistencia de 17.35 MPa y 28 días la resistencia esperada de 24 MPa.

En conclusión, este proyecto demuestra que es posible diseñar y fabricar un hormigón con un 10% de caucho de neumáticos fuera de uso como sustitución del agregado fino que alcance una resistencia de 24 MPa. Sin embargo, es importante destacar que estos resultados pueden variar según las características y especificaciones de la mezcla utilizada, las condiciones de aplicación y los requisitos del proyecto en particular. Cada caso requiere pruebas y evaluaciones específicas para obtener resultados más precisos y pertinentes.

Palabras Clave: Hormigón sustentable, hormigón testigo, caucho, construcción, neumáticos, reciclaje, sostenibilidad en la construcción.

Abstract

This present work entitled "Sustainable concrete design with rubber fibers of tires out of use with a resistance of 24 MPa" focuses on research and development of a concrete dosage that incorporates the recycled rubber as one of its components. The main objective of this research is to achieve the proposed resistance of 24 MPa, as well as evaluate its performance with the concrete witness.

This was an experimental study that consisted of performing resistance tests on concrete samples. therefore, several concrete mixtures with different proportions of recycled rubber were designed and specimens are manufactured to perform compression resistance tests resulting in 10% of the volume of the fine aggregate replaced by rubber being the most convenient.

The results of the endurance tests show that the concrete at 7 days reached a resistance of 20.9 MPa and at 28 days of 30 MPa, while concrete with 10% tyre rubber out of use at 7 days obtained a resistance of 17.35 MPa and 28 days the expected resistance of 24 MPa.

In conclusion, this project demonstrates that it is possible to design and manufacture a concrete with 10% tyre rubber, out of use as a replacement for fine aggregate reaching a resistance of 24 MPa. However, it is important to note that these results may vary according to the characteristics and specifications of the mixture used, the conditions of implementation and the requirements of the particular project. Each case requires specific tests and evaluations for more accurate and relevant results

Keywords: Sustainable concrete, witness concrete, rubber, construction, tires, recycling, sustainability in construction.

Índice

Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación	I
Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la Universidad Politécnica Salesiana	II
Certificado de dirección del trabajo de titulación	III
Dedicatoria	IV
Agradecimientos	V
Resumen	VI
Abstract	VII
1. Introducción	8
2. Problema	10
2.1. Antecedentes	10
2.2. Descripción del problema	10
2.3. Importancia y alcances	11
2.4. Delimitación	12
2.4.1. Espacial o Geográfica	12
2.4.2. Temporal	12
2.4.3. Sectorial o institucional	12
3. Objetivos	13
3.1. Objetivo General	13
3.2. Objetivos Específicos	13
4. Marco teórico	14
4.1. Hormigón	14
4.1.1. Hormigón sustentable	14
4.2. Componentes del hormigón	15
4.2.1. Agregados	15
4.2.2. Cemento	15
4.2.3. Agua	16
4.2.4. Caucho	16
4.2.4.1. Caucho a utilizar	18

4.3.	Propiedades físicas y mecánicas del hormigón	20
4.3.1.	Propiedades del hormigón en estado fresco	20
4.3.1.1.	Trabajabilidad	20
4.3.1.2.	Segregación	21
4.3.1.3.	Exudación o sangrado	21
4.3.1.4.	Fraguado	21
4.3.1.5.	Densidad	21
4.3.2.	Propiedades del hormigón en estado endurecido	22
4.3.2.1.	Resistencia a la compresión	22
4.4.	Ensayos de los agregados	22
4.4.1.	Reducción de muestra a tamaño de ensayo	22
4.4.2.	Granulometría	22
4.4.3.	Determinación del porcentaje de finos	22
4.4.4.	Determinación de la densidad, densidad relativa y absorción	23
4.4.5.	Determinación del peso volumétrico	23
4.4.6.	Determinación del contenido de humedad	23
4.4.7.	Determinación de la degradación del árido grueso	23
4.4.8.	Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino	23
5.	Marco metodológico	24
5.1.	Caracterización de los agregados	24
5.1.1.	Agregado grueso	24
5.1.1.1.	Reducción de muestra a tamaño de ensayo	24
5.1.1.2.	Granulometría	25
5.1.1.3.	Determinación del porcentaje de finos	28
5.1.1.4.	Determinación de la densidad, densidad relativa y absorción	28
5.1.1.5.	Determinación del peso volumétrico	29
5.1.1.6.	Determinación de la degradación	31
5.1.2.	Agregado fino	33
5.1.2.1.	Reducción de muestra a tamaño de ensayo	33
5.1.2.2.	Granulometría	34
5.1.2.3.	Determinación del porcentaje de finos	36
5.1.2.4.	Determinación de la densidad, densidad relativa y absorción	36
5.1.2.5.	Determinación del peso volumétrico	37
5.1.2.6.	Determinación de las impurezas orgánicas	38
5.1.3.	Caucho	39
5.1.3.1.	Granulometría	39
5.1.3.2.	Determinación del peso volumétrico	41
5.2.	Diseños de hormigón	41

5.2.1.	Diseño de hormigón convencional	41
5.2.1.1.	Elección del asentamiento	41
5.2.1.2.	Elección del tamaño máximo nominal (TMN)	42
5.2.1.3.	Estimación del contenido de aire	42
5.2.1.4.	Estimación de la cantidad de agua de mezclado	43
5.2.1.5.	Elección de la relación agua/cemento (a/c)	44
5.2.1.6.	Cálculo del contenido de cemento	45
5.2.1.7.	Verificación de agregados de acuerdo a las recomendaciones granulométricas	46
5.2.1.8.	Estimación del contenido de agregado grueso	46
5.2.1.9.	Estimación del contenido de agregado fino	47
5.2.1.10.	Ajuste de la cantidad de agua por el contenido de humedad del agregado	48
5.2.1.11.	Ensayos del hormigón en estado fresco	50
5.2.2.	Diseño de hormigón con fibras de caucho de neumáticos fuera de uso	53
5.2.2.1.	Datos iniciales	53
5.2.2.2.	Elección del porcentaje de caucho	54
5.2.2.3.	Granulometría del árido fino con caucho	55
5.2.2.4.	Elección de la relación agua/cemento (a/c)	56
5.2.2.5.	Cálculo del contenido del cemento	57
5.2.2.6.	Verificación de agregados de acuerdo a las recomendaciones granulométricas	58
5.2.2.7.	Estimación del contenido de agregado grueso	58
5.2.2.8.	Estimación del contenido de agregado fino (arena y fibras de caucho)	59
5.2.2.9.	Ajuste de la cantidad de agua por el contenido de humedad del agregado	60
5.2.2.10.	Ensayos del hormigón en estado fresco	62
5.2.3.	Elaboración y curado de especímenes	65
5.2.3.1.	Elaboración de especímenes	65
5.2.3.2.	Curado de probetas	66
6.	Resultados	67
7.	Conclusiones	70
8.	Recomendaciones	71
	Referencias	74
	ANEXOS	75

Lista de Tablas

4.1. Descripción del caucho	18
4.2. Propiedades del caucho	19
4.3. Tipo de productos de caucho elaborados a base de la trituración de neumáticos	19
5.1. Tamaño de la muestra para el ensayo del árido grueso	25
5.2. Resultados obtenidos	26
5.3. Requisitos de gradación para áridos gruesos	26
5.4. Granulometría agregado grueso	27
5.5. Ensayo de porcentaje de finos en el árido grueso	28
5.6. Ensayo de gravedad específica y absorción del árido grueso	29
5.7. Capacidad de los moldes	30
5.8. Ensayo del peso volumétrico del agregado grueso	31
5.9. Gradación de las muestras de ensayo	32
5.10. Especificaciones para la carga	32
5.11. Ensayo de degradación del agregado grueso	33
5.12. Resultados obtenidos	34
5.13. Ensayo granulométrico del agregado fino	35
5.14. Porcentaje de finos que pasa el tamiz (No.200)	36
5.15. Ensayo de gravedad específica y absorción del agregado fino	37
5.16. Ensayo de masa unitaria suelta y compacta del agregado fino	38
5.17. Datos del ensayo de colorimetría	39
5.18. Granulometría del caucho	40
5.19. Ensayo del peso volumétrico del caucho	41
5.20. Valores de asentamiento recomendados para diversas clases de construcción .	42
5.21. Contenido aproximado de aire en el concreto para varios grados de exposición	43
5.22. Requerimientos de agua de mezclado	44
5.23. Resistencia promedio a la compresión requerida	44
5.24. Relación agua cemento	45
5.25. Cálculo del contenido de cemento	45
5.26. Datos iniciales de dosificación	46
5.27. Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto (b/bo) . . .	47
5.28. Volumen estimado del árido grueso	47

5.29. Volumen de árido fino para 1 m ³ de hormigón convencional	48
5.30. Fórmula para determinar el agua en exceso o defecto	48
5.31. Ajuste de agua	49
5.32. Agua de mezclado	49
5.33. Ajuste de humedad - Dosificación final para un hormigón convencional	50
5.34. Pesos para 1 m ³ de hormigón convencional	50
5.35. Cálculos para la densidad del hormigón convencional	52
5.36. Cálculos para el rendimiento del hormigón convencional	52
5.37. Parámetros iniciales para el hormigón con caucho	54
5.38. Resistencia con diferentes porcentajes de caucho con una relación a/c = 0.42	54
5.39. Granulometría del árido fino más caucho	55
5.40. Resistencia promedio a los 7 días con 10% de caucho con varias relaciones agua cemento	56
5.41. Cálculo del contenido de cemento para la dosificación con 10% de caucho	57
5.42. Datos iniciales de dosificación	58
5.43. Volumen del agregado grueso por unidad de volumen de concreto (b/bo)	59
5.44. Volumen estimado del agregado grueso	59
5.45. Volumen de agregado fino con fibras de caucho para 1 m ³	60
5.46. Fórmula para determinar el agua en exceso o defecto	60
5.47. Ajuste de agua para hormigón con fibras de caucho	61
5.48. Agua de mezclado para hormigón con fibras de caucho	61
5.49. Ajustes de humedad para hormigón con fibras de caucho - Dosificación final	62
5.50. Pesos para 1m ³ de hormigón con fibras de caucho para una relación a/c de 0.36	62
5.51. Cálculos para la densidad	63
5.52. Cálculos para el rendimiento	64
5.53. Requisitos para determinar el método de compactación	65
5.54. Requisitos para el moldeo mediante varillado	66
6.1. Resultados del hormigón testigo y hormigón con 10% caucho con una relación agua/cemento = 0.36	67
6.2. Resultados de los costos para un metro cúbico de hormigón convencional	68
6.3. Resultados de los costos para un metro cúbico de hormigón con el uso de fibras de caucho	69
8.1. Registro de datos del hormigón testigo a los 7 días	76
8.2. Registro de datos del hormigón testigo a los 14 días	76
8.3. Registro de datos del hormigón testigo a los 28 días	77
8.4. Registro de datos del hormigón con 10% de caucho a los 7 días	77
8.5. Registro de datos del hormigón con 10% de caucho a los 14 días	78
8.6. Registro de datos del hormigón con 10% de caucho a los 28 días	78

8.7. Registro de datos del hormigón con 10% de caucho a los 7 días, muestra 2 .	79
8.8. Registro de datos del hormigón con 10% de caucho a los 28 días, muestra 2 .	79
8.9. Registro de datos del hormigón con 10% de caucho a los 7 días, muestra 3 .	80
8.10. Registro de datos del hormigón con 10% de caucho a los 28 días	80

Lista de Figuras

5.1. Cuarteo sobre una superficie, limpia y nivelada	24
5.2. Cuarteo sobre una superficie, limpia y nivelada	25
5.3. Curva granulométrica del agregado grueso	27
5.4. Cuarteo del agregado fino	33
5.5. Límites de granulometría	34
5.6. Curva granulométrica del agregado fino	35
5.7. Curva granulométrica del caucho	40
5.8. Asentamiento del hormigón convencional	51
5.9. Ensayo del contenido de aire en el hormigón fresco del hormigón convencional	53
5.10. Resistencia a los 7 días con diferentes porcentajes de caucho	55
5.11. Curva granulométrica del árido fino con caucho	56
5.12. Gráfica de la resistencia promedio a los 7 días con 10% de caucho en relación con agua/cemento	57
5.13. Asentamiento	63
5.14. Ensayo del contenido de aire en el hormigón fresco	64
8.1. Granulometría del agregado fino	81
8.2. Componentes del hormigón con caucho	81
8.3. Elaboración de hormigón con caucho	82
8.4. Elaboración de probetas de hormigón con caucho	82
8.5. Ensayo de asentamiento	83
8.6. Ensayo de densidad del hormigón con caucho	83
8.7. Curado de cilindros	84
8.8. Cilindros de hormigón con caucho	84
8.9. Capeado de cilindros	85
8.10. Ensayo a compresión de probetas	85
8.11. Resultado de la resistencia	86
8.12. Resultado de la resistencia	86
8.13. Resultado de la resistencia	87

1. Introducción

En los últimos años, la búsqueda de alternativas sostenibles en la industria de la construcción ha cobrado cada vez más importancia, pues enfrenta el desafío de encontrar soluciones que combinen: eficiencia, durabilidad y respeto por el medio ambiente. El hormigón es uno de los materiales más utilizados en la construcción y ha sido objeto de numerosas investigaciones con el objetivo de reducir su impacto ambiental y mejorar su desempeño.

El hormigón convencional, compuesto principalmente por: cemento, áridos y agua, ha sido ampliamente utilizado debido a su alta resistencia, durabilidad y versatilidad. Sin embargo, la producción de cemento genera una importante cantidad de emisiones de dióxido de carbono, contribuyendo al calentamiento global.

Con este contexto, surge el hormigón sustentable con caucho como una alternativa prometedora que combina la resistencia estructural del hormigón convencional con el uso de materiales reciclados. El uso de caucho reciclado en la mezcla de hormigón no solo contribuye a la reducción de residuos de neumáticos, sino que también puede mejorar las propiedades del hormigón y reducir su huella ambiental.

La gestión de los neumáticos desechados representa un desafío ambiental significativo. En este sentido, el uso de caucho proveniente de neumáticos reciclados como adición al hormigón ha surgido como una solución potencialmente beneficiosa desde el punto de vista eco - amigable. debido a que su producción convencional tiene un impacto significativo en el medio ambiente debido al consumo de grandes cantidades de recursos naturales.

El objetivo de esta tesis es comparar la resistencia entre el hormigón sustentable con caucho y el hormigón convencional, evaluando así sus propiedades mecánicas y determinando si la incorporación de caucho reciclado afecta la resistencia del hormigón.

A través de esta investigación, se espera obtener resultados claros y confiables que permitan comparar y analizar de manera precisa el comportamiento tanto del hormigón con caucho como del convencional y así determinar posibles diferencias en términos de resistencia entre estos dos. Estos resultados serán de gran relevancia para la industria de la construcción, ya que podrían respaldar la adopción de prácticas más sostenibles al demostrar que el hormigón

sustentable con caucho puede ser una opción viable desde el punto de vista estructural.

Se espera que esta investigación proporcione una base sólida para promover el uso del hormigón sustentable con caucho en la industria de la construcción, fomentando la adopción de prácticas constructivas más sostenibles, avanzando hacia un sector de la construcción más respetuoso con el medio ambiente y contribuyendo a la mitigación del cambio climático.

2. Problema

2.1. Antecedentes

Los romanos utilizaban caliza calcinada con agua y arena para hacer hormigón, agregando piedras trituradas, tejas rotas o ladrillo. Con el tiempo, la fabricación del hormigón ha cambiado de acuerdo con la industria de la construcción y sus variaciones en el ámbito de las obras civiles, lo que ha permitido diseñar un concreto de mayor calidad, eficiencia y resistencia para satisfacer las necesidades de las nuevas construcciones (Cachiguango Remache, 2014).

Según investigaciones, la explotación de arena y grava representa el mayor volumen de extracción de materiales sólidos en todo el mundo. Sin embargo, las fuentes de extracción son insuficientes para satisfacer la gran demanda. Aproximadamente 50 mil millones de toneladas de arena y grava son necesarias en todo el mundo cada año. También es un contaminante importante que causa inundaciones, agotamiento de los acuíferos y contribuye a la sequía (Gallagher, Yusuf, Chuah, Lynggaard, y Boiko, 2022).

Es por ello que, en la actualidad, se han propuesto nuevas alternativas para la formación del hormigón, como es el uso de materiales reciclados, siendo uno de estos el caucho. Varios investigadores han sugerido un contenido máximo del 20% del volumen total del agregado y un tamaño no superior al tamaño del caucho desmenuzado. Con respecto a la resistencia a la comprensión, es preferible utilizar en cantidades más pequeñas de 0.5 a 12,5% en peso, sustituyendo al agregado fino para obtener hormigones de alta resistencia con un límite de 60 MPa (Muñoz, Vidaurre, Asenjo, y Gavidia, 2021).

2.2. Descripción del problema

En el cuidado del medio ambiente, la fase de residuos de los materiales ocupa grandes espacios de botaderos, por lo que es necesario dar un adecuado proceso. Como es en el caso del caucho, ya que este al degradarse desprende una gran cantidad de fragmentos que se dispersan por el medio ambiente, contaminando el aire y son arrastrados por la lluvia a los ríos, mares y lagunas (Pelález Arroyave, Velásquez Restrepo, y Giraldo Vásquez, 2017).

Como parte de la formación del hormigón, está la presencia de los agregados como la grava y la arena, los cuales ocupan entre el 60 y 75% del volumen de la mezcla. Por lo que, es

indispensable contar con agregados que cumplan con características específicas que permiten asegurar un adecuado diseño de hormigón. Sin embargo, en varias ocasiones existe escasez de estos elementos debido a la sobreexplotación de las fuentes de las que provienen estos materiales, afectando a los ecosistemas y aportando a los desastres naturales (Vargas y cols., 2022).

2.3. Importancia y alcances

En la presente investigación se pretende disminuir el uso del agregado fino dentro de la dosificación del hormigón y sustituirlo por fibras de caucho, reutilizándolas de los neumáticos fuera de uso, ya que según la ONU cada año se explotan 50.000 millones de toneladas sin que haya una adecuada atención durante la extracción causando daños en la naturaleza. La arena es un material importante para el desarrollo económico; sin embargo, la extracción de este recurso natural en lugares donde juega un papel importante, puede provocar daños al suelo, salinización de las aguas, generar pérdidas de biodiversidad, entre otros (Bermudez Guerrero, 2018).

“Nuestros recursos de arena no son infinitos y tenemos que utilizarlos de forma inteligente. Si conseguimos controlar la forma de gestionar el material sólido más extraído del mundo, podremos evitar una crisis y avanzar hacia una economía circular”, sostuvo Peduzzi (Organización de las Naciones Unidas, 2023)

La reutilización de los neumáticos fuera de uso también contribuye al medio ambiente, de manera que disminuye las emisiones de CO_2 a la capa de ozono, preserva el medio ambiente, fabricamos nuevos productos ecológicos y reducimos la propagación de enfermedades.

Así pues, la importancia de buscar alternativas para la dosificación del hormigón con materiales reciclables es evidente porque existe una sobreexplotación de los agregados, en consecuencia necesitamos disminuir su uso, por lo tanto, mediante la reutilización del caucho de los neumáticos fuera de uso se genera un hormigón amigable con el medio ambiente, sin alterar la resistencia de 24 MPa, reduciendo el uso del agregado fino sustituyéndolo por las fibras de caucho.

En cada uno de los ensayos realizados en laboratorio, tanto a los agregados fino y grueso y en la verificación de la resistencia, se utilizará la Norma técnica ecuatoriana.

2.4. Delimitación

2.4.1. Espacial o Geográfica

El trabajo de titulación se realiza en la Universidad Politécnica Salesiana en la ciudad de Cuenca, campus el vecino.

2.4.2. Temporal

El trabajo de titulación se ejecutará en el periodo académico 62, comprendido entre los meses de marzo a junio del 2023.

2.4.3. Sectorial o institucional

El trabajo de titulación “Diseño de hormigón sustentable con fibras de caucho de neumáticos fuera de uso con una resistencia de 24 MPa”, está dentro del sector de la construcción y la ingeniería civil, en el desarrollo de una alternativa sostenible y económica al hormigón tradicional, además de beneficiar al medio ambiente

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

- Diseñar un hormigón sustentable con fibras de caucho de neumáticos fuera de uso con una resistencia 24 MPa.

3.2. Objetivos Específicos

- Determinar los parámetros iniciales para el diseño de mezclas de hormigón con fibras de caucho de neumáticos fuera de uso con una resistencia de 24 MPa.
- Elaborar las probetas de hormigón con fibras de caucho de neumáticos fuera de uso de acuerdo a las mezclas realizadas y la norma técnica ecuatoriana.
- Determinar la resistencia de las probetas con fibras de caucho de neumáticos fuera de uso bajo la norma técnica ecuatoriana 1573.

4. Marco teórico

4.1. Hormigón

El concreto es una mezcla de varios componentes, incluyendo un material aglutinante, comúnmente conocido como cemento Portland Hidráulico, así como materiales de relleno, agua y posiblemente aditivos. Después de que la mezcla haya sido colocada en su lugar, esta se endurece y forma un sólido compacto que puede soportar grandes esfuerzos de compresión después de un tiempo determinado (de Guzman, s.f.).

Podemos definir al concreto como un material que se utiliza principalmente para la construcción de diversas obras civiles. Este material consta de tres partes principales: el aglomerante, los agregados y el agua. El agua permite que el cemento experimente reacciones químicas complejas que darán como resultado un proceso llamado endurecimiento del hormigón y finalmente, después del endurecimiento, se tendrá un material sólido con una consistencia pedregosa (Mancheno Guallichico y Salazar Pozo, 2021a).

4.1.1. Hormigón sustentable

El hormigón sustentable es también conocido como hormigón eco-amigable u hormigón verde, es un tipo de hormigón que se produce teniendo en cuenta consideraciones ambientales, sociales y económicas. Se busca reducir el impacto negativo en el medio ambiente durante su ciclo de vida, desde la extracción de los materiales hasta su demolición o reciclaje. Existen varias formas de hacer que el hormigón sea más sustentable (Nazer, Honores, Chulak, y Pavez, 2019).

En algunas de las investigaciones incluyen el uso de materiales reciclados como el vidrio molido, el hormigón reciclado proveniente de demoliciones o el caucho, en lugar de áridos; esto reduce la demanda de recursos naturales y disminuye la cantidad de residuos enviados a los vertederos. Así mismo, otras de las formas de hacer que el hormigón sea sustentable es el uso de aditivos de bajo impacto, en donde se emplean aditivos y sustitutos del cemento convencional que generan menor cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero durante su producción; algunos ejemplos son las cenizas volantes, la escoria de altos hornos y los materiales puzolánicos (Mohammadi y Khabbaz, 2015).

El objetivo principal del hormigón sustentable es minimizar el impacto ambiental sin

comprometer la calidad y las propiedades del hormigón. Al adoptar prácticas sustentables en la producción y uso del hormigón, se busca avanzar hacia una industria de la construcción más responsable desde el punto de vista ambiental.

4.2. Componentes del hormigón

4.2.1. Agregados

- **Agregado grueso:** El Instituto Ecuatoriano de Normalización define el agregado grueso o árido grueso como el que tiene la mayoría de las partículas retenidas en el tamiz 4, que es igual a 4,75 milímetros. El agregado grueso o árido grueso se compone de grava, piedra triturada, grava triturada o una mezcla de estos materiales (Hidalgo Figueroa y Rodríguez Reyes, 2015).
- **Agregado fino:** Según NTE INEN 694 (2010), es un material resultante de la descomposición, desgaste o procesamiento de la piedra natural arenisca y es completamente quebradizo. También se lo puede definir por su tamaño, el agregado o material fino pasa por el tamiz de 9,5 mm (3/8 pulgadas) y la mayoría de sus partículas pasan por el tamiz de 4,75 mm (No. 4) y se retiene en el tamiz de 0.075 mm (No. 200) (Mancheno Guallichico y Salazar Pozo, 2021a).

4.2.2. Cemento

En las mezclas de hormigón, el cemento es el principal aglutinante porque al mezclarse con el agua forma una pasta que permite que las partículas se superpongan y se unan, lo que da como resultado una buena adherencia entre ellas (León Altamirano y Rosero Sangucho, 2016).

El cemento Portland es una sustancia pulverulenta de tonalidad grisácea que se compone en su mayoría de silicatos de calcio y aluminio, los cuales son obtenidos mediante la combustión controlada de fuentes como calizas, arcillas o pizarras, junto con yeso y otros procesos especiales. La denominación de "Portland" se origina debido a su parecido en color con las piedras halladas en la región homónima de Inglaterra (Mancheno Guallichico y Salazar Pozo, 2021a).

Tipos de cemento:

Según la norma NTE INEN 2380 (2011), tenemos la siguiente clasificación del cemento hidráulico:

- Tipo GU. Para la construcción en general. Se lo debe utilizar cuando no se requieren uno o más de los tipos especiales.

- 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.

Con base en NTE INEN 490 (2011), que aplica a cementos hidráulicos compuestos destinados a ser utilizados en hormigón para construcción en general.

- Tipo IS. Cemento Portland de escoria de altos hornos.
- Tipo IP. Cemento Portland puzolánico.
- Tipo IT. Cemento compuesto ternario.

4.2.3. Agua

El agua es un componente esencial de la mezcla de concreto que le permite fraguar y endurecerse, el agua que se agregue al hormigón debe cumplir con la normativa vigente en el país NTE INEN 2617. Existe dos tipos de agua que se menciona a continuación (Hidalgo Figueroa y Rodríguez Reyes, 2015).

- **Agua de mezclado:** Es la cantidad de agua por volumen de hormigón necesaria para hidratar el cemento de forma que la pasta adquiera fluidez y permita que el árido se lubrique en su estado plástico.
- **Agua de curado:** El agua de curado debe estar libre de contaminantes y sustancias nocivas, el agua potable suele ser suficiente y se recomienda que la temperatura del agua no sea inferior a 11 °C.

4.2.4. Caucho

El caucho es una mezcla de tejidos flexibles naturales o sintéticos con resistencia al agua y durabilidad. El caucho natural está hecho de un líquido lechoso llamado látex que se encuentra en muchas plantas. El caucho sintético está hecho de hidrocarburos insaturados (Peláez Arroyave y cols., 2017).

El caucho, un material versátil, ha encontrado muchas aplicaciones en la construcción. Este material se utiliza ampliamente en la construcción, como se detalla a continuación (Nazer y cols., 2019).

- **Impermeabilización:** El caucho se utiliza ampliamente como material de impermeabilización en techos, terrazas, piscinas, estanques y otras estructuras expuestas al agua. Los sistemas de impermeabilización de caucho, como las membranas de caucho EPDM (etileno propileno dieno monómero), son duraderos, flexibles y resistentes a la intemperie.
- **Aislamiento acústico:** El caucho también se utiliza para proporcionar aislamiento acústico en la construcción. Las capas de caucho se instalan en suelos, techos y paredes para reducir la transmisión de ruido entre espacios. El caucho tiene propiedades de amortiguación que ayudan a absorber y disipar la energía del sonido.
- **Aislamiento térmico:** El caucho se utiliza en productos de aislamiento térmico, como paneles y láminas de caucho celular, que se utilizan para reducir la transferencia de calor en edificios. Estos materiales de aislamiento de caucho ayudan a mantener una temperatura interior confortable y a mejorar la eficiencia energética.
- **Juntas y sellos:** El caucho se utiliza en la fabricación de juntas y sellos para crear uniones herméticas en estructuras. Las juntas de caucho se utilizan en ventanas, puertas, sistemas de ventilación y otras áreas donde se requiere estanqueidad. El caucho es un material elástico que puede adaptarse a diferentes formas y movimientos, lo que lo hace adecuado para aplicaciones de sellado.
- **Pavimentos:** En algunos casos, el caucho se utiliza como material para pavimentos en áreas de alto tráfico, como parques infantiles, gimnasios y zonas deportivas. Los pavimentos de caucho ofrecen propiedades de amortiguación y resistencia al desgaste, lo que los hace seguros y duraderos.
- **Aislamiento eléctrico :** El caucho también se utiliza en aplicaciones que requieren aislamiento eléctrico. Se utiliza en cables y revestimientos para proteger y aislar los conductores eléctricos, evitando cortocircuitos y descargas eléctricas.

Es importante tener en cuenta que los productos de caucho utilizados en la construcción deben cumplir con las normas y estándares de calidad establecidos para garantizar su rendimiento y durabilidad.

Según la (*Aplicaciones - Ecsade*, s.f.), el caucho se puede incorporar, entre otras cosas, en obras civiles, es decir, en toda obra de infraestructura vial que pueda desarrollarse en el país, ya sea para modificar asfaltos u hormigones. Así pues, se exponen los siguientes:

- **Hormigón flexible:** Es una mezcla especial que se utiliza para conferir flexibilidad al hormigón sin comprometer su resistencia a la compresión. Esta variante del hormigón es especialmente adecuada para la construcción de superficies deportivas, cubiertas de losetas y pavimentos peatonales.

- **Hormigón drenante:** Este tipo de hormigón se emplea en la construcción de campos deportivos, como canchas de césped sintético, donde se requiere eliminar eficientemente el agua de lluvia. Es una opción ideal para estacionamientos, aceras, áreas ajardinadas, entre otros.
- **Hormigón alivianado:** Este hormigón es especialmente indicado para la fabricación de elementos prefabricados más livianos, como paredes interiores y losetas de cubiertas que luego necesitan ser impermeabilizadas.

Recientemente, ha surgido un interés creciente entre los investigadores a nivel global por estudiar los efectos de las partículas de caucho en la mezcla de concreto, las cuales se obtienen de neumáticos usados y se utilizan como sustituto de los agregados convencionales. En este contexto, se ha sugerido que el contenido máximo de caucho no debe superar el 20% del volumen total de los agregados y que el tamaño de las partículas de caucho desmenuzado cumplan con los requerimientos granulométricos (Pérez, Valdera, Bustamante, Paredes, y cols., 2021). Es por ello que la presente investigación, se basa en el uso de diferentes porcentajes de volúmenes de caucho, hasta llegar a su optimización.

4.2.4.1. Caucho a utilizar

1. **Descripción del producto:** Polvo de caucho vulcanizado producido por trituración mecánica a temperatura ambiente de neumáticos fuera de uso.

Tabla 4.1

Descripción del caucho

Composición/Componente	Descripción
Caucho vulcanizado (%)	< 0.10 para tamaños de caucho superiores a 6 mm.
Materiales ferromagnéticos (%)	< 0.1 para tamaños de caucho inferiores o iguales a 6mm.
Materiales textiles (%)	< 0.05
Otros materiales (%)	< 0.05

Nota: En la presente tabla se muestra la composición y su equivalencia dentro del caucho, de acuerdo a (ECSADE S.A, 2020).

2. Propiedades físicas y químicas:

Tabla 4.2*Propiedades del caucho*

PROPIEDADES FÍSICAS	DESCRIPCIÓN
Forma	Sólidos en forma de granulados y polvo
Color	Negro
Olor	Caucho característico
Densidad (gr/cm ³)	0.7942 – 1.032
Peso específico	1.15 – 1.27
Humedad (%)	< 0.75
Punto de combustión (°C)	300 – 450
PROPIEDADES QUÍMICAS	DESCRIPCIÓN
Extracto cetónico (%)	5.00 – 22.00
Contenido de cenizas (%)	7.00 – 11.00
Contenido en polímeros NR/SR (%)	70/30 – 60/40
Contenido de negro de humo (%)	26.00 – 38.00
Contenido de caucho natural (%)	10.00 – 35
Contenido en hidrocarburo de caucho (%)	57.00 – 58.00
Contenido de Plomo (mg/kg)	< 0.03
Azufre (%)	1.0 – 7.0
pH (25°C)	8.12 – 8.20
Solubilidad	Insoluble en agua, parcialmente soluble en acetona.

Nota: En la presente tabla se muestran las propiedades físicas y químicas del caucho que se va a utilizar en el hormigón, de acuerdo a (ECSADE S.A, 2020).

3. Tipos de productos:

Tabla 4.3*Tipo de productos de caucho elaborados a base de la trituración de neumáticos*

DENOMINAL COMERCIAL	GRANULOMETRIA (mm)	CLASIFICACIÓN SEGÚN ASTM D5603	CLASIFICACIÓN SEGÚN MANUAL ECSADE
CAUCHO – FLEX® SAE - 05	0 – 3	NA	SAE – 05
CAUCHO – FLEX® SAE - 06	3 – 6	NA	SAE – 06
CAUCHO – FLEX® SAE - 07	1 – 4	NA	SAE – 07
ECSAFLEX - SAE - 09	0 – 3	NA	SAE – 09
SUELO SEGURO - SAE - 10	6 – 10	NA	SAE – 10
CAUCHO - FLEX PIGMENTADO SAE - 12.	0 – 10	NA	SAE – 12
CAUCHOFLEX - POLVEX - SAE-16	0 – 1	NA	SAE – 16
CAUCHOFLEX - FIFA - SAE - FIFA	0.5 – 2.5	NA	SAE – FIFA

Nota: En esta tabla se muestran los tipos de productos que ofrece la empresa, de acuerdo a (ECSADE S.A, 2020).

Para este proyecto se utilizó específicamente el **Cauchoflex - Polvex - Sae - 16** el cual en base en la tabla 4.3 tiene un tamaño de 0 - 1 mm.

4. **Presentación:**

- Sacos de polipropileno de 25 Kg; 50 Kg.
- Big Bags de polipropileno de 1000 Kg.

5. **Transporte, manipulación y almacenamiento:**

- **Transporte:** Es importante cumplir con las normas establecidas por la Agencia Nacional de Tránsito, ya que no es peligroso.
- **Manipulación:** No se requieren precauciones adicionales.
- **Almacenamiento:** Se recomienda almacenar en un lugar seco, protegido de la lluvia y el sol a temperatura ambiente.

6. **Efectos sobre la salud y el medio ambiente:** Los granulados y polvo de neumáticos reciclados no son explosivos, no comburentes, no irritantes, no tóxicos oralmente, no tóxicos por contacto con la piel, no cancerígenos, no magnéticos, no mutagénicos y no tienen la capacidad de producir gases tóxicos en el medio ambiente a menos que se quemara directamente (ECSADE S.A, 2020).

4.3. **Propiedades físicas y mecánicas del hormigón**

El hormigón tiene propiedades propias tanto en estado fresco como endurecido, estas propiedades vienen determinadas por sus componentes y sus cantidades según el proyecto. Algunas propiedades del concreto en estado fresco y endurecido se describen en detalle a continuación:

4.3.1. **Propiedades del hormigón en estado fresco**

4.3.1.1. **Trabajabilidad**

Esta característica permite un fácil manejo de mezcla, consolidación y acabado de concreto fresco. Esta propiedad se puede ver afectada por la forma y el tiempo que dure el transporte, las características de los elementos que componen al hormigón, el aire que contiene, el volumen de concreto y al incluir aditivos (Kosmatka, Panarese, y Bringas, 1992).

- **Compacidad:** La compacidad hace referencia como la facilidad con la que se puede disminuir los espacios de aire mediante técnicas de compactación (Mancheno Guallichico y Salazar Pozo, 2021a).

- **Cohesividad:** La cohesión es la capacidad de mantener el hormigón estable sin segregación, es decir, está directamente relacionado con la cantidad de agua y cemento adheridos a la mezcla de concreto. Si hay más agua en el hormigón, se separará más fácilmente.
- **Plasticidad:** La plasticidad del hormigón se refiere a la capacidad del hormigón para lograr la deformación sin llegar a romperse.
- **Consistencia:** La consistencia es la característica que permite que el hormigón fluya y se adapte a la forma de los moldes en los que se vierte. El ensayo del cono de Abrams, regulado por la norma NTE INEN 1578, se utiliza para medir el grado de consistencia de la mezcla de hormigón en estado fresco (Mancheno Guallichico y Salazar Pozo, 2021a).

4.3.1.2. Segregación

La segregación del hormigón hace referencia a la pérdida de homogeneidad que se da por la separación de algún o algunos de sus componentes una vez realizado el amasado. Cuando el hormigón tiene una buena segregación, nos indica que los áridos están uniformemente distribuidos, tanto en dirección vertical como en horizontal. Caso contrario, el hormigón puede presentar superficies mal acabadas, con fisuras, agujeros y afecta negativamente a la durabilidad y a la resistencia de un elemento estructural (Frías Muñoz y Salazar Amagua, 2019).

4.3.1.3. Exudación o sangrado

Este fenómeno se produce cuando el agua de amasado sube a la mezcla de hormigón mientras se fragua. Los componentes del hormigón fresco contienen materiales de diferentes densidades, por ende, se produce una tendencia a la decantación de áridos más pesados y un aumento del agua, menos densa (Frías Muñoz y Salazar Amagua, 2019).

4.3.1.4. Fraguado

Es el resultado de las reacciones químicas que ocurren durante la mezcla de los elementos que lo componen, lo que hace que el hormigón se endurezca y pierda su plasticidad para darle un cierto grado de resistencia a medida que sigue este proceso de fraguado (Cachiguango Remache, 2014).

4.3.1.5. Densidad

Hace referencia a la suma de pesos de los componentes del hormigón para un metro cúbico. Los cambios del hormigón van a depender de factores como la cantidad de árido, cemento, el tamaño del agregado, la cantidad de agua y el aire que quede contenido en el interior de la mezcla (Toro Tipán y Villarreal García, 2019).

4.3.2. Propiedades del hormigón en estado endurecido

4.3.2.1. Resistencia a la compresión

Es la capacidad de soportar una carga por unidad de área, por lo tanto, se expresa en términos de esfuerzo. Mediante la elaboración de probetas y el ensayo a compresión podemos determinar los resultados de resistencia, los cuales se pueden utilizar para verificar que el concreto cumpla con su resistencia de diseño y para realizar controles de calidad según se requiera (Mancheno Guallichico y Salazar Pozo, 2021b).

Las probetas se ensayan a diferentes edades para verificar el incremento de su resistencia, se estima que a la edad de 28 días debe alcanzar la resistencia a la cual fue diseñada.

4.4. Ensayos de los agregados

Es importante trabajar con áridos de buena calidad que cumplan con los ensayos de la norma Ecuatoriana, ya que nos permiten garantizar el cumplimiento de los parámetros de diseño del hormigón según la estructura para la cual fue diseñada.

4.4.1. Reducción de muestra a tamaño de ensayo

La norma NTE INEN 2566 establece tres métodos para reducir las muestras grandes de agregados al tamaño adecuado para cada ensayo, de manera que la muestra de ensayo sea lo más representativa posible de la muestra grande (NTE INEN 2566, 2010).

4.4.2. Granulometría

Basándonos en los procedimientos de la norma NTE INEN 696, el objetivo de este ensayo es determinar la distribución granulométrica de las partículas en los agregados gruesos y finos. Los resultados se utilizan para evaluar si el agregado cumple con la distribución granulométrica dado por la norma NTE INEN 872 para agregado grueso y fino.

4.4.3. Determinación del porcentaje de finos

Con base en la norma NTE INEN 697, determinamos el porcentaje de partículas (finos) que pasan por un tamiz con aberturas de 0.075 mm. Esta norma ofrece dos opciones de lavado: el procedimiento A solo usa agua y el procedimiento B incluye un agente dispersor para separar el material más fino del más grueso. Sin embargo, se debe usar el procedimiento A, a menos que se especifique lo contrario, los resultados deben estar dentro del rango que detalla la norma NTE INEN 872.

4.4.4. Determinación de la densidad, densidad relativa y absorción

Para determinar la densidad promedio y relativa es necesario para ambos agregados tener previamente una muestra de material secado en el horno. Luego, se determina el peso en estado saturado superficialmente seco, la masa aparente en agua a una temperatura de 23 °C (± 2 °C) y el peso de las muestras después del secado en el horno a una temperatura de 110 °C (± 5 °C), basándonos en los procedimientos dados por las normas NTE INEN 856 y NTE INEN 857.

También, mediante este ensayo se calcula la absorción, lo cual nos permite determinar los cambios de masa del árido causado por absorción de los poros (NTE INEN 856, 2010).

4.4.5. Determinación del peso volumétrico

De acuerdo al ensayo establecido en la norma NTE INEN 858 determinamos el peso volumétrico mediante el cálculo de la masa unitaria de los áridos en condición suelta y compacta. Para la masa suelta, simplemente llenamos el molde correspondiente, mientras que para la masa compacta, hay tres métodos: varillado, sacudidas o paladas. Cualquiera de estos métodos implica distribuir el agregado de la manera más efectiva para reducir los espacios vacíos entre partículas (NTE INEN 858, 2010).

4.4.6. Determinación del contenido de humedad

La humedad en el agregado es la cantidad de agua expresada en porcentaje. Por lo tanto, es importante que este ensayo se realice el día en que se vaya a realizar la dosificación del hormigón. Este ensayo consta de secar una cantidad de muestra en el horno hasta eliminar la humedad desde los poros hasta la parte superficial del árido (NTE INEN 862, 2011).

4.4.7. Determinación de la degradación del árido grueso

Basándonos en la norma NTE INEN 860, este ensayo utiliza la máquina de los Ángeles por qué simula el desgaste del árido en condiciones de uso. El resultado de la prueba determina la resistencia del árido a la degradación y si es adecuado para su uso en construcción (NTE INEN 860, 2011).

4.4.8. Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino

Según el ensayo establecido en la norma NTE INEN 855 determinamos las impurezas orgánicas que contenga el agregado fino, a través de dos métodos, el primero es utilizar una solución de color normalizado y el segundo método es mediante la comparación de los colores que están normalizados. Es necesario que para el diseño de un hormigón los agregados estén libre de materia orgánica, ya que al estar expuesto a factores como la humedad, no debe de contener elementos que puedan ser reactivos con los álcalis del cemento y que pueda causar expansión excesiva al hormigón o al mortero (NTE INEN 855, 2010).

5. Marco metodológico

5.1. Caracterización de los agregados

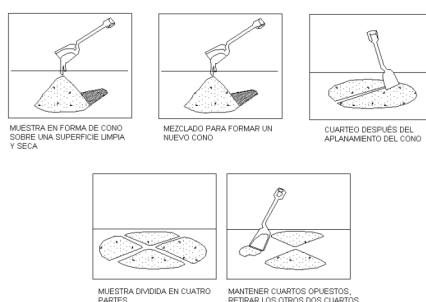
5.1.1. Agregado grueso

5.1.1.1. Reducción de muestra a tamaño de ensayo

La norma NTE INEN 2566 establece tres métodos para la reducción de muestras de gran tamaño que son adecuados para cada uno de los ensayos correspondientes. El método B, que se realiza mediante el cuarteo, será el método que utilizaremos.

Figura 5.1

Cuarteo sobre una superficie, limpia y nivelada.



Nota: Método B del cuarteo, de acuerdo a NTE INEN 2566 (2010).

El procedimiento se realizó en una manta de lona de 2 metros por 2,5 metros. Primero, se colocó el material original sobre una superficie limpia, nivelada y firme. Luego, dejamos la muestra en forma de cono y mezclamos todo el material con una pala de borde recto más de tres veces. Aplanamos el cono con una pala hasta que el diámetro sea de cuatro a ocho veces el espesor. Con una paleta, dividimos la masa en cuatro partes iguales y juntamos los dos cuartos diagonalmente opuestos, incluyendo todo el material fino. Basándonos en los ensayos requeridos, esta muestra se ajustará para cada ensayo (NTE INEN 2566, 2010).

Figura 5.2

Cuarteo sobre una superficie, limpia y nivelada.



Nota: Realización del cuarteo del agregado grueso.

5.1.1.2. Granulometría

De acuerdo a los datos proporcionados por la cantera, el tamaño máximo nominal (TMN) es de 19 mm o 3/4 in, basándonos en este valor se determina la muestra mínima según la norma NTE INEN 696.

Tabla 5.1

Tamaño de la muestra para el ensayo del árido grueso.

Tamaño nominal máximo, Aberturas cuadradas, en mm (pulgadas)	Tamaño del ensayo mínimo (Kg)
9.5	1
12.5	2
19	5
25	10
37.5	15
50	20
63	35
75	60
90	100
100	150
125	300

Nota: La presente tabla detalla la cantidad de muestra dependiendo del TMN, de acuerdo a (NTE INEN 696, 2011).

Procedemos a tamizar la muestra, con un peso mínimo de 5 kg, en una serie de tamices que están ordenados descendente de la siguiente manera: 25 mm, 19 mm, 9.5 mm, 4.75 mm y la bandeja de fondo.

Tabla 5.2

Resultados obtenidos.

TAMIZ		Retenido Parcial(g)
INEN	ASTM	
25 mm	1 in	0
19 mm	3/4 in	347
12,5 mm	1/2 in	3136
9,5 mm	3/8 in	1085
4,75 mm	No 4	471
Bandeja		30
		5069

Nota: En la presenta tabla se observa los pesos retenidos en cada tamiz..

De acuerdo con la norma NTE INEN 872, el material debe cumplir con la siguiente tabla de gradación, es decir, tener al menos una serie que cumpla, siendo así la serie número 6 se ajusta a nuestro agregado.

Tabla 5.3

Requisitos de gradación para áridos gruesos.

Número de tamaño	Tamaño nominal (Tamices con aberturas cuadradas) (mm)	Porcentaje acumulado en masa que debe pasar cada tamiz de laboratorio (aberturas cuadradas)													
		100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37,5 mm	25,0 mm	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm	300 µm
1	de 90 a 37,5	100	90 a 100	---	25 a 60	---	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---	---
2	de 63 a 37,5	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---	---
3	de 50 a 25,0	---	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---
357	de 50 a 4,75	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	---	0 a 5	---	---	---
4	de 37,5 a 19,0	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---
467	de 37,5 a 4,75	---	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	0 a 5	---	---	---
5	de 25,0 a 12,5	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---	---	---	---
56	de 25,0, a 9,5	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	---	---	---
57	de 25,0 a 4,75	---	---	---	---	---	100	95 a 100	---	25 a 60	---	0 a 10	0 a 5	---	---
6	de 19,0 a 9,5	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	---	---	---
67	de 19,0 a 4,75	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	---	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---	---
7	de 12,5 a 4,75	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	---	---
8	de 9,5 a 2,36	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	---
89	de 9,5 a 1,18	---	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9 ^A	de 4,75 a 1,18	---	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

^A Al árido con número de tamaño 9, se lo define en la NTE INEN 694 como árido fino. Se lo incluye como árido grueso cuando está combinado con un material con número de tamaño 8 para crear el número de tamaño 89, que es árido grueso según se define en la NTE INEN 694.

Nota: La presente tabla muestra las series del porcentaje acumulado que debe cumplir el árido grueso, de acuerdo NTE INEN 872 (2011).

En la siguiente gráfica se visualiza los límites superiores e inferiores y dentro de estos límites la serie de la granulometría obtenida de los pasantes acumulados correspondientes a cada tamiz.

Tabla 5.4

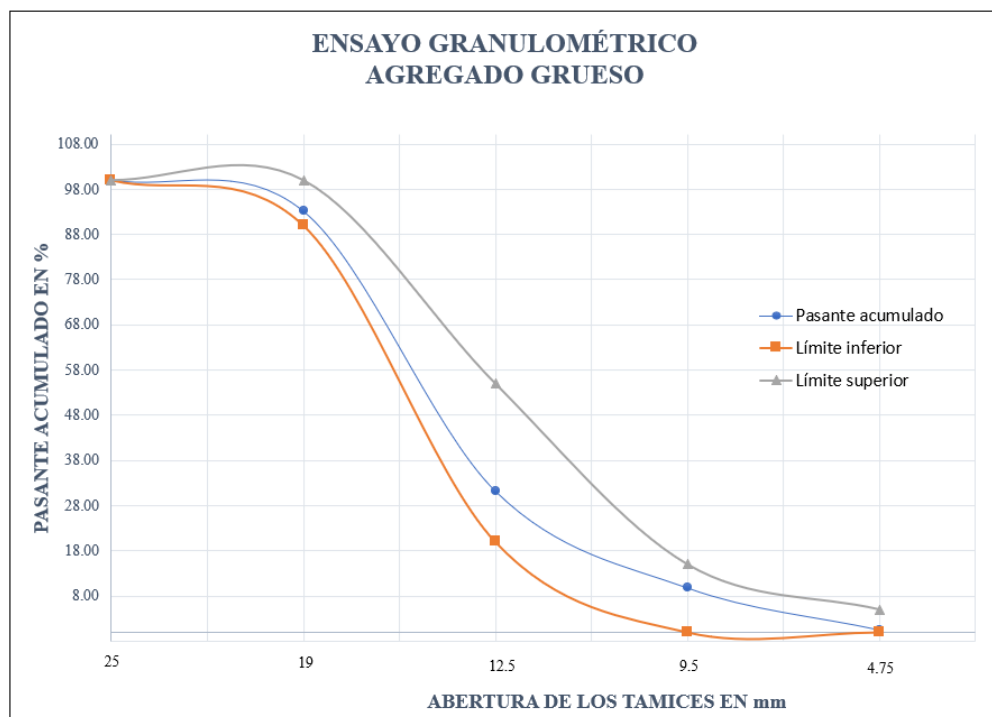
Granulometría agregado grueso.

TAMIZ		Retenido Parcial(g)	Retenido Parcial %	Retenido Acumulado %	Pasante Acumulado	límite inferior %	límite superior %
INEN	ASTM						
25 mm	1 in	0	0	0	100	100	100
19 mm	3/4 in	347	7	7	93	90	100
12,5 mm	1/2 in	3136	62	69	31	20	55
9,5 mm	3/8 in	1085	21	90	10	0	15
4,75 mm	No 4	471	9	99	1	0	5
Bandeja		30	1	100	0	-	-
		5069					

Nota: En la presenta tabla se especifica la distribución granulométrica del agregado grueso.

Figura 5.3

Curva granulométrica del agregado grueso.



Nota: Representación gráfica del ensayo granulométrico del agregado grueso.

Resultado Obtenido: mediante la gráfica se puede observar que el agregado está dentro

de los límites, por ende, se puede verificar que el árido está bien gradado, pero también se pudo comprobar que el TMN es de 19 mm.

5.1.1.3. Determinación del porcentaje de finos

Secamos una muestra de agregado hasta obtener una masa constante, luego usamos el método A con agua potable y removemos el árido para separar las partículas más finas de las más grandes. Pasamos el agua suspendida por el tamiz (No. 200) durante el lavado hasta que el agua no tenga color. Finalmente, secamos la muestra lavada y calculamos la diferencia de pesos que nos da como resultado los finos contenidos en la muestra NTE INEN 697 (2010).

Tabla 5.5

Ensayo de porcentaje de finos en el árido grueso.

ENSAYO DE PORCENTAJE DE FINOS DEL AGREGADO GRUESO				
DATOS TÉCNICOS				
ORIGEN	Santa Isabel - Rircay - Sulupali Grande			
NORMA	NTE INEN 867: ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DEL MATERIAL MÁS FINO QUE PASA EL TAMIZ CON ABERTURAS DE 75 µm (No. 200)			
DATOS OBTENIDOS				
Masa seca - muestra inicial	B	3295	kg	
Masa seca después del lavado	C	3277	kg	
CÁLCULOS				
Porcentaje de finos	=	$\frac{(B-C)}{B} * 100$	0.6	%

Nota: La presente tabla muestra los cálculos para la obtención del porcentaje de finos que pasa el tamiz (No.200) en el agregado grueso.

Resultado obtenido: El porcentaje de finos que pasa el tamiz (No.200) es de **0.6%**, por lo tanto, cumple con lo que detalla la norma NTE INEN 872.

5.1.1.4. Determinación de la densidad, densidad relativa y absorción

Este ensayo se basa en la NTE INEN 857, que indica que la muestra inicial debe estar en un estado SSS (Saturado Superficialmente Seco). Luego se determina el volumen mediante el método del desplazamiento de agua. Este método implica colocar una muestra inicial en una canasta y colocar la canasta bajo el agua, que debe estar a 23 °C ± 2 °C. Antes de calcular la masa, se elimina todo el aire atrapado de la muestra y se calcula el peso de la muestra sumergida. Finalmente, la muestra se seca en el horno hasta que tenga una masa uniforme (NTE INEN 857, 2010).

Tabla 5.6

Ensayo de gravedad específica y absorción del árido grueso.

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO GRUESO				
DATOS TÉCNICOS				
ORIGEN	Santa Isabel - Rircay - Sulupali Grande			
NORMA	NTE INEN 857: DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO GRUESO			
DATOS OBTENIDOS				
Masa en aire de la muestra seca al horno	A	4892	g	
Masa en aire de la muestra saturada superficialmente seca	B	5097	g	
Masa aparente en agua de la muestra saturada	C	3014.9	g	
CÁLCULOS				
Densidad relativa (gravedad específica) SH (Seco al horno)	=	$\frac{A}{(B - C)}$	2.35	
Densidad relativa (gravedad específica) SSS (Saturado superficialmente seca)	=	$\frac{B}{(B - C)}$	2.45	
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	=	$\frac{A}{(A - C)}$	2.61	
Densidad SH (Seco al horno)	=	$\frac{997.5 A}{(B - C)}$	2343.68	kg/m ³
Densidad SSS (Saturada superficialmente seca)	=	$\frac{997.5 B}{(B - C)}$	2441.89	kg/m ³
Densidad aparente	=	$\frac{997.5 A}{(A - C)}$	2599.63	kg/m ³
Absorción	=	$\frac{(B - A)}{A} * 100$	4.2	%

Nota: La presente tabla muestra los cálculos de gravedad específica y absorción en el agregado grueso.

Resultados obtenidos: La densidad seca es de **2343.68 kg/m³** y la absorción de **4.2%**

5.1.1.5. Determinación del peso volumétrico

El método de ensayo para medir la masa unitaria del árido en condición compacta y suelta se realiza con los envases adecuados en relación con el TMN, según la norma NTE INEN 858, como se ha categorizado en la siguiente tabla:

Tabla 5.7

Capacidad de los moldes.

Tamaño máximo nominal del árido mm	Capacidad nominal del molde ^A m³ [litros]
12,5	0,0028 [2,8]
25,0	0,0093 [9,3]
37,5	0,014 [14]
75,0	0,028 [28]
100,0	0,070 [70]
125,0	0,100 [100]

^A Capacidad del molde a utilizar para ensayar áridos de un tamaño máximo nominal igual o menor que el correspondiente en la lista. El volumen real del molde debe ser de al menos el 95% del volumen nominal indicado.

Nota: La presente tabla muestra los moldes especificados dependiendo del tamaño máximo nominal del árido, de acuerdo (NTE INEN 858, 2010).

Para la masa unitaria suelta, solo se llena el molde, se enrasa y se pesa, mientras que para la masa unitaria compacta, en la norma NTE INEN 858 tenemos tres opciones: el procedimiento por varillado, sacudidas y paladas. El procedimiento aplicado es mediante varillado, implica llenar la tercera parte del molde y nivelar la superficie, luego compactamos el agregado con 25 golpes con la varilla de compactación distribuidos uniformemente, de la misma manera realizamos con las dos capas faltantes hasta llenar el molde. Finalmente, nivelamos y tomamos el peso (NTE INEN 858, 2010).

Tabla 5.8

Ensayo del peso volumétrico del agregado grueso.

ENSAYO DE PESO VOLÚMETRICO DEL AGREGADO GRUESO				
DATOS TÉCNICOS				
ORIGEN	Santa Isabel - Rircay - Sulupali Grande			
NORMA	NTE INEN 858: DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO)			
DATOS OBTENIDOS PARA DETERMINAR EL VOLUMEN DEL MOLDE				
Masa molde + placa de vidrio	A	12.17	kg	
Masa molde + placa de vidrio + agua	B	21.70	kg	
Densidad del agua	C	998.73	kg/m ³	
CÁLCULOS				
Volumen del molde	=	$\frac{(B - A)}{C}$	9.54	lt
DATOS OBTENIDOS PARA DETERMINAR LAS MASAS UNITARIAS				
Masa compacta del árido más el molde	G1	26.42	kg	
Masa suelta del árido más el molde	G2	25.48	kg	
Masa del molde	T	12.17	kg	
CÁLCULOS				
Masa unitaria compacta	=	$\frac{(G1 - T)}{V}$	1492.96	kg/m ³
Masa unitaria suelta	=	$\frac{(G2 - T)}{V}$	1394.85	kg/m ³

Nota: La presente tabla muestra los datos y cálculos obtenidos de los pesos volumétricos del agregado grueso.

Resultados obtenidos: Masa unitaria compacta de **1492.96 kg/m³** mientras que la masa unitaria suelta de **1394.85 kg/m³** .

5.1.1.6. Determinación de la degradación

Este ensayo determina la pérdida de masa de los agregados como resultado de la abrasión o el desgaste. Según la norma NTE INEN 860, el procedimiento de ensayo consiste en elegir el tipo de gradación del material utilizando la granulometría como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 5.9*Gradación de las muestras de ensayo.*

Tamaño de las aberturas de tamiz (mm) (aberturas cuadradas)		Masa por tamaños indicada (g)			
Pasante de	Retenido en	Gradación			
		A	B	C	D
37,5	25,0	1 250 ± 25	---	---	---
25,0	19,0	1 250 ± 25	---	---	---
19,0	12,5	1 250 ± 10	2 500 ± 10	---	---
12,5	9,5	1 250 ± 10	2 500 ± 10	---	---
9,5	6,3	---	---	2 500 ± 10	---
6,3	4,75	---	---	2 500 ± 10	---
4,75	2,36	---	---	---	5 000 ± 10
	Total	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10

Nota: La presente tabla muestra los tipos de gradación dependiendo de la granulometría del agregado grueso, de acuerdo (NTE INEN 860, 2011).

Basándonos en la granulometría de la tabla 5.4 podemos escoger la gradación B. En cuanto a la especificación de la carga ingresada en la máquina de los Ángeles también nos fundamentamos en la gradación B como lo indica en la posterior tabla:

Tabla 5.10*Especificaciones para la carga.*

Gradación	Número de esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5 000 ± 25
B	11	4 584 ± 25
C	8	3 330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Nota: La presente tabla muestra las especificaciones para la carga dependiendo de la gradación, de acuerdo (NTE INEN 860, 2011).

Para el procedimiento del ensayo colocamos la muestra y la carga seleccionada en la máquina de Los Ángeles, la cual debe girar a 500 revoluciones con una velocidad de 30 r/min a 33 r/min. Luego, sacamos el material y tamizamos por el tamiz de 1.70 mm. Finalmente, se toma la masa (NTE INEN 858, 2010).

Tabla 5.11

Ensayo de degradación del agregado grueso.

ENSAYO DE DEGRADACIÓN DEL AGREGADO GRUESO			
DATOS TÉCNICOS			
ORIGEN	Santa Isabel - Rircay - Sulupali Grande		
MUESTRA	Agregado grueso (grava)		
NORMA	NTE INEN 860: DETERMINACIÓN DEL VALOR DE LA DEGRADACIÓN DEL ÁRIDO GRUESO		
DATOS OBTENIDOS			
Masa inicial de la muestra de ensayo	B	5.00	Kg
Masa de la muestra retenida en el tamiz 1.70 mm, después del ensayo	C	4.081	Kg
CÁLCULOS			
Valor de la degradación	=	$\frac{(B-C)}{B} * 100$	18.38 %

Nota: La presente tabla muestra los datos y cálculos obtenidos en el ensayo de degradación.

Resultado obtenido: La degradación del agregado grueso fue de **18.38 %**.

5.1.2. Agregado fino

5.1.2.1. Reducción de muestra a tamaño de ensayo

De la misma forma como se realizó la reducción de muestra para el árido grueso realizamos para el árido fino, aplicando el método B de la norma NTE INEN 2566.

Figura 5.4

Cuarteo del agregado fino.



Nota: Elaboración del cuarteo del agregado fino sobre una superficie limpia y nivelada.

5.1.2.2. Granulometría

Para realizar este ensayo tamizamos una muestra seca mínimo de 300 g, ordenamos los tamices de manera decreciente, vertemos el árido desde el tamiz superior y agitamos mediante la tamizadora durante tres minutos.

Tabla 5.12

Resultados obtenidos.

TAMIZ		Retenido Parcial (g)
INEN (mm)	ASTM	
9.5	3/8 in	5
4.75	No.4	24
2.36 mm	No.8	47
1.18 mm	No.16	80
600 µm	No.30	111
300 µm	No.50	111
150 µm	No.100	70
75 µm	No.200	13
Bandeja		2
		463

Nota: En la presenta tabla se observa los pesos retenidos en cada tamiz..

Figura 5.5

Límites de granulometría.

Tamiz (NTE INEN 154)	Porcentaje que pasa
9,5 mm	100
4,75 mm	95 a 100
2,36 mm	80 a 100
1,18 mm	50 a 85
600 µm	25 a 60
300 µm	5 a 30
150 µm	0 a 10

Nota: En la presente imagen están los límites establecidos en la norma para verificar la granulometría del árido fino, de acuerdo (NTE INEN 872, 2011).

Tabla 5.13

Ensayo granulométrico del agregado fino.

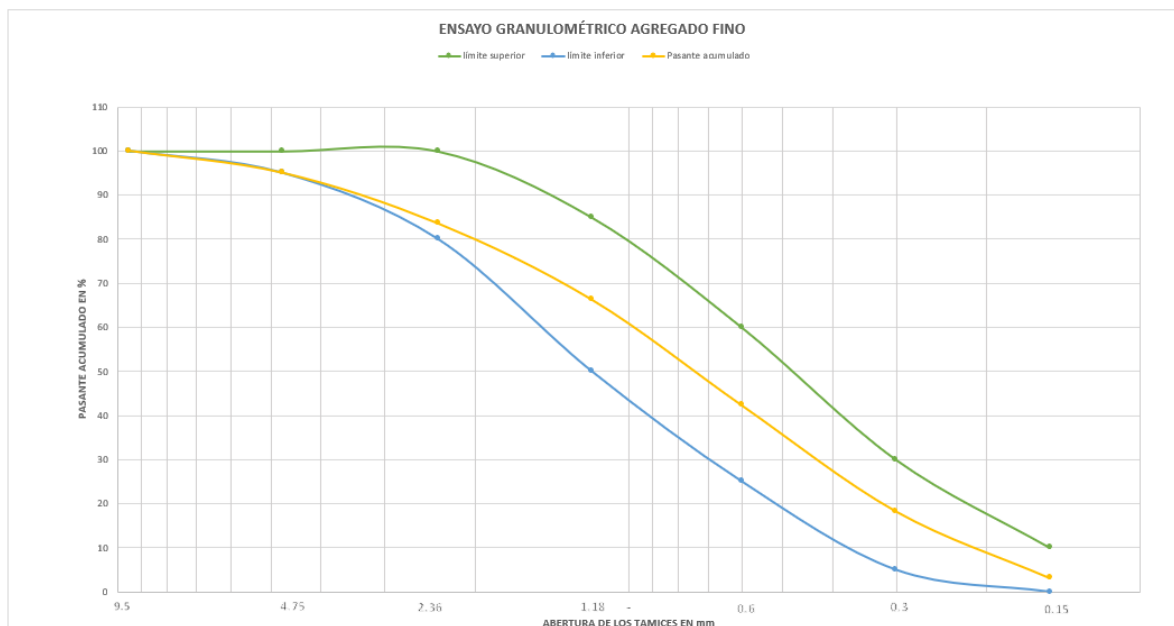
TAMIZ		Retenido Parcial (g)	Retenido Parcial %	Retenido Acumulado %	Pasante Acumulado%	Límite inferior %	Límite superior %
INEN (mm)	ASTM						
9.5	3/8 in	5	1	1	100	100	100
4.75	No.4	24	5	6	95	95	100
2.36 mm	No.8	47	10	16	84	80	100
1.18 mm	No.16	80	17	34	66	50	85
600 µm	No.30	111	24	58	42	25	60
300 µm	No.50	111	24	82	18	5	30
150 µm	No.100	70	15	97	3	0	10
75 µm	No.200	13	3	100	0		
Bandeja		2	0	100			
		463					

MÓDULO DE FINURA	2.94
---------------------	------

Nota: Mediante la presente tabla podemos observar los pesos retenidos en cada tamiz.

Figura 5.6

Curva granulométrica del agregado fino.



Nota: Representación gráfica del ensayo granulométrico del agregado fino.

Resultado Obtenido: El módulo de finura es de **2.94%** y mediante la gráfica se puede observar que el agregado está dentro de los límites, por ende, se puede verificar que el árido está bien gradado.

5.1.2.3. Determinación del porcentaje de finos

De la misma forma como se determinó el porcentaje de finos que pasan el tamiz (No.200) en el agregado grueso, aplicamos el procedimiento A basado en la norma NTE INEN 697.

Tabla 5.14

Porcentaje de finos que pasa el tamiz (No.200).

ENSAYO DE PORCENTAJE DE FINOS DEL ÁRIDO FINO				
ORIGEN	Santa Isabel - Rircay - Sulupali Grande			
MUESTRA	Agregado fino (arena)			
NORMA	NTE INEN 697: ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DEL MATERIAL MÁS FINO QUE PASA EL TAMIZ CON ABERTURAS DE 74 µm (No.200)			
DATOS OBTENIDOS				
Masa seca original de la muestra, g	B	480	g	
Masa seca de la muestra luego del lavado	C	463	g	
CÁLCULOS				
A	=	$\frac{B-C}{B} \times 100$	3.5	%

Nota: Mediante la presente tabla se puede observar los datos obtenidos de este ensayo.

Resultado Obtenido: Porcentaje de finos es **3.5%** que pasa el tamiz (No.200), por lo tanto, cumple con lo que detalla la norma NTE INEN 872.

5.1.2.4. Determinación de la densidad, densidad relativa y absorción

De acuerdo a la norma NTE INEN 856, secamos una muestra hasta tener una masa constante y sumergimos en agua por 24 horas. Después, mediante el ensayo del cono truncado verificamos que la muestra esté en estado SSS. Posteriormente, aplicamos el método gravimétrico el cual consiste en llenar el picnómetro de árido fino más agua hasta el 90% de su capacidad y con cuidado agitamos manualmente para eliminar las burbujas de aire. Finalmente, retiramos el árido del picnómetro y secamos al horno a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta tener una masa constante (NTE INEN 856, 2010).

Tabla 5.15

Ensayo de gravedad específica y absorción del agregado fino.

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO				
DATOS TÉCNICOS				
ORIGEN	Santa Isabel - Rircay - Sulupali Grande			
MUESTRA	Agregado fino (arena)			
NORMA	NTE INEN 856: ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO			
DATOS OBTENIDOS				
Masa de la muestra seca al horno	A	478	g	
Masa del picnometro lleno con agua hasta la marca de calibración	B	649	g	
Masa del picnometro lleno con muestra y agua hasta la marca de calibración	C	953	g	
Masa de la muestra SSS (procedimiento gravimétrico)	S	500	g	
CÁLCULOS				
Absorción	=	$\frac{B - A}{A} \times 100$	4.7	%
Densidad relativa (gravedad específica) (SH)	=	$\frac{A}{(B + S - C)}$	2.44	
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	=	$\frac{A}{(B + A - C)}$	2.76	
Densidad relativa aparente (gravedad específica) (SSS)	=	$\frac{S}{B + S - C}$	2.56	
Densidad (SH)	=	$\frac{997.5 A}{(B + S - C)}$	2435.61	kg/m ³
Densidad (SSS)	=	$\frac{997.5 S}{(B + S - C)}$	2549.85	kg/m ³
Densidad aparente (SSS)	=	$\frac{997.5 A}{(B + A - C)}$	2750.61	kg/m ³

Nota: En esta tabla se puede observar los resultados de densidad y absorción mediante los valores obtenidos del ensayo.

Resultado Obtenido: La densidad seca es de **2435.61 kg/m³** y la absorción es de **4.7%**.

5.1.2.5. Determinación del peso volumétrico

De la misma manera que calculamos las masas unitarias del agregado grueso, calculamos las masas unitarias del agregado fino utilizando la norma NTE INEN 858. Para el agregado grueso, el molde es de 9.54 litros, mientras que para el agregado fino es de 2.79 litros.

Tabla 5.16

Ensayo de masa unitaria suelta y compacta del agregado fino.

ENSAYO DE PESO VOLUMÉTRICO DEL ÁRIDO FINO				
DATOS TÉCNICOS				
ORIGEN	Santa Isabel - Rircay - Sulupali Grande			
MUESTRA	Agregado fino (arena)			
NORMA	NTE INEN 858: DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) Y EL PORCENTAJE DE VACIOS.			
DATOS OBTENIDOS PARA DETERMINAR EL VOLUMEN DEL MOLDE				
Masa molde + placa de vidrio	A	1.54	kg	
Masa molde + placa de vidrio + agua	B	4.33	kg	
Densidad del agua	C	998.73	kg/m ³	
CÁLCULOS				
Volumen del molde	=	$\frac{(B - A)}{C}$	2.789	lt
DATOS OBTENIDOS PARA DETERMINAR LAS MASAS UNITARIAS				
Masa suelta del árido más molde	G1	5.39	kg	
Masa compacta del árido más molde	G2	5.76	kg	
Masa del molde	T	1.54	kg	
CÁLCULOS				
Masa unitaria suelta del árido	=	$M1 = (G1 - T)/V$	1378.50	kg/m ³
Masa unitaria compacta del árido	=	$M2 = (G2 - T)/V$	1513.34	kg/m ³

Nota: En esta tabla se puede observar los resultados obtenidos de masa suelta y compacta.

Resultados Obtenidos: La masa unitaria suelta es de **1378.50 kg/m³** y masa unitaria compacta es de **1513.34 kg/m³**.

5.1.2.6. Determinación de las impurezas orgánicas

Para este ensayo, elegimos el método del comparador de colores normalizados, que implica agregar 450 g de muestra de árido fino con agua en un frasco de vidrio de 140 cm³ a 470 cm³ con tapa. Después, agregamos una solución normalizada de hidróxido de sodio, agitamos y dejamos reposar durante un día. Finalmente, comparamos el color del líquido de la muestra con los colores normalizados; si es más oscuro que los colores normalizados, nos indica que posiblemente hay impurezas orgánicas, los cuales son verificados con la norma NTE INEN 866.

Tabla 5.17

Datos del ensayo de colorimetría.

ENSAYO DE COLORIMETRÍA DEL ÁRIDO FINO	
DATOS TÉCNICOS	
ORIGEN	Santa Isabel - Rircay - Sulupali Grande
MUESTRA	Agregado fino (arena)
NORMA	NTE INEN 855: ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LAS IMPURAZAS ORGÁNICAS EN EL ÁRIDO FINO PARA HORMIGÓN
PROCEDIMIENTO UTILIZADO	
Comparador de colores	
RESULTADO	
	

Nota: Comparación con los colores normalizados.

Resultado Obtenido: El agua presenta un color más claro que el número 1, lo cual nos indica que está libre de impurezas orgánicas, por lo tanto, es apto para el hormigón.

5.1.3. Caucho

Debido a que el caucho va a sustituir un volumen de arena, se mantienen vigentes las normativas de acuerdo a la granulometría del árido fino basándonos en la norma NTE INEN 872 y para el ensayo de peso volumétrico se debe regir a la norma NTE INEN 858 como se muestra a continuación.

5.1.3.1. Granulometría

Como dato inicial para este ensayo tomamos una muestra que peso 500 g de caucho y realizamos el análisis granulométrico como se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 5.18

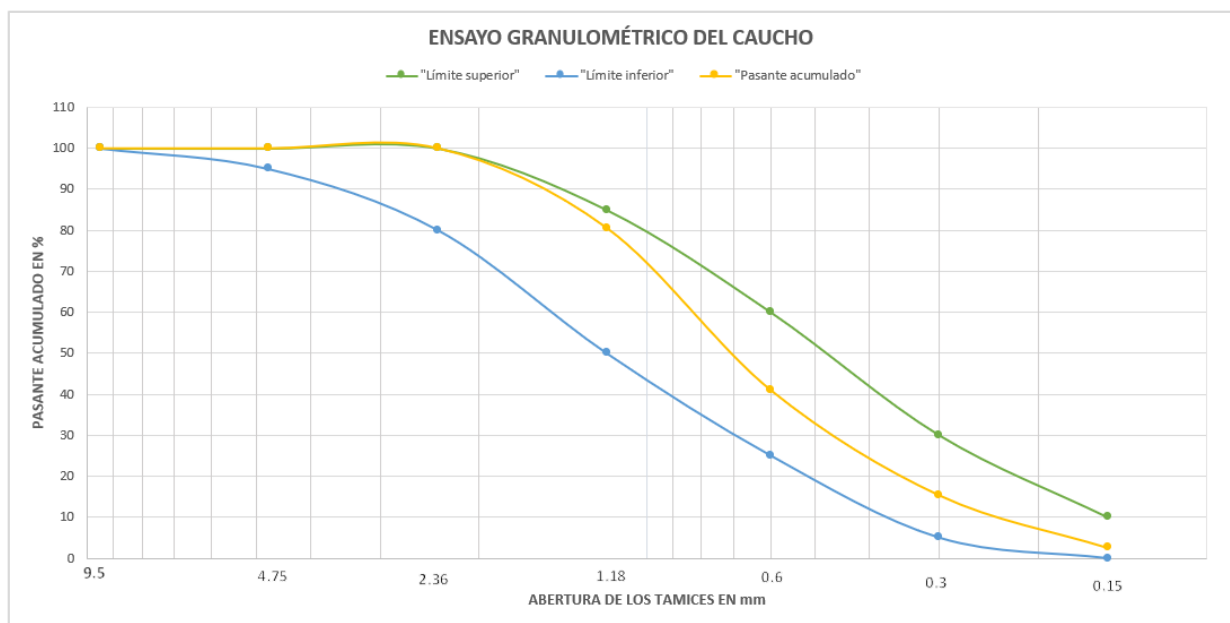
Granulometría del caucho.

GRANULOMETRÍA DEL CAUCHO							
DATOS TÉCNICOS							
ORIGEN		ECSADE S.A					
TAMIZ		Retenido Parcial(g)	Retenido Parcial %	Retenido Acumulado %	Pasante Acumulado %	Limite inferior %	Limite superior %
INEN	ASTM						
1,18 mm	No.16	97	19	19	81	50	85
600 µm	No.30	198	40	59	41	25	60
300 µm	No.50	128	26	85	15	5	30
150 µm	No.100	64	13	97	3	0	10
75 µm	No.200	12	2	100	0		
Bandeja		1	0	100	0		
		500					

Nota: Mediante la presente tabla podemos observar los pesos retenidos en cada tamiz.

Figura 5.7

Curva granulométrica del caucho.



Nota: Representación gráfica de la curva granulométrica del caucho.

Resultado obtenido: Con base en la granulometría del caucho podemos verificar que cumple con los límites establecidos para el agregado fino, lo cual nos indica que va a existir

un acomodo de partículas.

5.1.3.2. Determinación del peso volumétrico

Se aplica el mismo procedimiento anteriormente mencionado en el agregado grueso y fino, colocando el caucho en dos procedimientos que consisten en masa suelta que sería llenar el envase y enrasar, mientras que el compacto se realiza mediante tres capas. Finalmente, enrasamos y tomamos las masas correspondientes.

Tabla 5.19

Ensayo del peso volumétrico del caucho

ENSAYO DEL PESO VOLÚMETRICO DEL CAUCHO				
DATOS TÉCNICOS				
Origen	Guayaquil			
Muestra	Caucho			
DATOS OBTENIDOS				
Masa compacta del árido más el molde	G1	2.859	kg	
Masa suelta del árido más el molde	G2	2.674	kg	
Masa del molde	T	1.544	kg	
Volumen del molde	V	2.789	lt	
CÁLCULOS				
Masa unitaria compacta	=	$\frac{(G1 - T)}{V}$	471.57	kg/m ³
Masa unitaria suelta	=	$\frac{(G2 - T)}{V}$	405.23	kg/m ³

Nota: En esta tabla se puede observar los datos y resultado obtenidos con el ensayo del peso volumétrico en el caucho.

Resultados obtenidos: La masa unitaria compacta es de **471.57 kg/m³** mientras que la masa unitaria suelta es de **405.23 kg/m³**.

5.2. Diseños de hormigón

5.2.1. Diseño de hormigón convencional

El diseño de hormigón fue realizado bajo la normativa American Concrete Institute (Instituto Americano de concreto) ACI 211, con todos los datos obtenidos en cada uno de los ensayos y siguiendo el proceso de manera rigurosa, como lo exponemos posteriormente.

5.2.1.1. Elección del asentamiento

El asentamiento será escogido mediante la siguiente tabla dependiendo de la consistencia y grado de trabajabilidad, por lo tanto, elegimos un asentamiento de **10 cm** siendo posible su

uso para losas medianamente forzadas y pavimentos compactados a mano, columnas, vigas, fundiciones, y muros con vibración.

Tabla 5.20

Valores de asentamiento recomendados para diversas clases de construcción.

Asentamiento (cm)	Consistencia (Tipo de concreto)	Grado de trabajabilidad	Tipo de estructura y condiciones de colocación
0 - 2.0	Muy seca	Muy pequeño	Vigas o pilotes de alta resistencia con vibraciones de formaleta
2.0 - 3.5	Seca	Pequeño	Pavimentos vibrados con máquina mecánica
3.5 - 5.0	Semi - seca	Pequeño	Construcciones en masas voluminosas, losas medianamente reforzadas con vibración, fundiciones en concreto simple, pavimentos con vibradores normales
5.0 - 10.0	Media	Medio	Losas medianamente forzadas y pavimentos compactados a mano, columnas, vigas, fundiciones y muros con vibración
10.0 - 15.0	Húmeda	Alto	Secciones con mucho refuerzo, trabajos donde la colocación sea difícil, revestimiento de túneles. No recomendable para compactarlo con demasiada vibración

Nota: En esta tabla se puede observar los asentamientos correspondientes dependiendo del tipo de estructura y condiciones de colocación, de acuerdo (Guzmán, 2001)

5.2.1.2. Elección del tamaño máximo nominal (TMN)

Con la verificación de la granulometría en la tabla 5.4 el Tamaño Máximo Nominal (TMN) es de **19 mm** o **3/4 in** en función de los áridos de la zona.

5.2.1.3. Estimación del contenido de aire

El término “contenido de aire” en el hormigón se refiere a la cantidad de aire atrapado dentro de la masa del material. Este valor se mide y generalmente se representa como un porcentaje del volumen total del hormigón, como se expresa en la siguiente tabla, escogimos un **2%** según nuestro TMN, expresado en volumen es igual a **0.02** metros cúbicos.

Tabla 5.21

Contenido aproximado de aire en el concreto para varios grados de exposición.

Agregado grueso		Porcentaje promedio aproximado de aire atrapado	Porcentaje promedio total de aire recomendado para los siguiente grados de exposición		
Pulgadas	mm		Suave	Mediano	Severo
$\frac{3}{8}$	9.51	3.0	4.5	6.0	7.5
$\frac{1}{2}$	12.50	2.5	4.0	5.5	7.0
$\frac{3}{4}$	19.10	2.0	3.5	5.0	6.0
1	25.40	1.5	3.0	4.5	6.0
$1\frac{1}{2}$	38.10	1.0	2.5	4.5	5.5
2	50.80	0.5	2.0	4.0	5.0
3	76.10	0.3	1.5	3.5	4.5
6	152.40	0.2	1.0	3.0	4.0

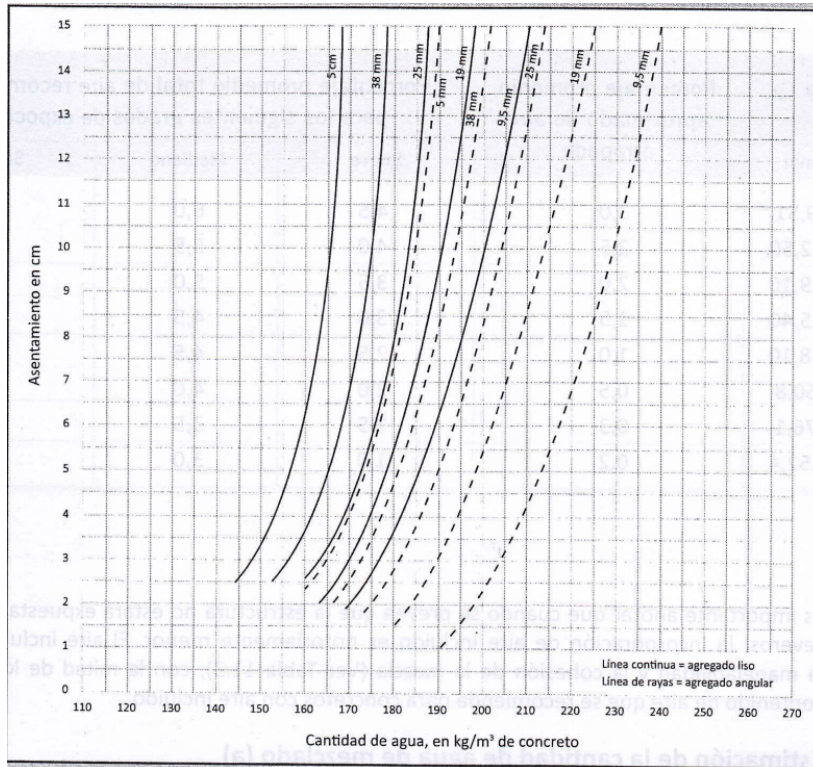
Nota: En esta tabla se puede observar la cantidad de aire para un m³ dependiendo del grado de exposición, de acuerdo (Guzmán, 2001).

5.2.1.4. Estimación de la cantidad de agua de mezclado

Mediante la siguiente gráfica determinamos el valor del contenido de agua de acuerdo al asentamiento y las características del agregado grueso, el cual es triturado. De acuerdo a esto obtuvimos un contenido de agua de **214 kg/m³**.

Tabla 5.22

Requerimientos de agua de mezclado.



Nota: Mediante la presente imagen determinamos la cantidad de agua dependiendo de ciertas características, de acuerdo (Guzmán, 2001).

5.2.1.5. Elección de la relación agua/cemento (a/c)

Para calcular esta relación, podemos utilizar la siguiente tabla con base en la resistencia promedio a la compresión requerida, utilizando la norma CPE INEN 5 Parte 2.

Tabla 5.23

Resistencia promedio a la compresión requerida.

Resistencia especificada $f'c$ (MPa)	Resistencia media requerida $f'cr$ (MPa)
< 21	$f'c + 7.0$
$21 \leq f'c \leq 35$	$f'c + 8.5$
> 35	$1.10 f'c + 5.0$

Nota: Requisitos de resistencia a la compresión cuando no se dispone de datos estadísticos (NEC SE HM, 2014)

La relación agua/cemento se obtuvo de la siguiente tabla con base en la resistencia adicionada el factor obtenido de la tabla anterior cuyo valor es de 8.5 MPa resultando 32.5 MPa.

Tabla 5.24

Relación agua cemento.

Resistencia a la compresión a los 28 días en kg/cm ² y (PSI)	Concreto sin incluir de aire Relación absoluta por peso	Concreto con incluir de aire Relación absoluta por peso
175 (2500)	0.65	0.56
210 (3000)	0.58	0.5
245 (3500)	0.52	0.46
280 (4000)	0.47	0.42
315 (4500)	0.43	0.38
350 (5000)	0.40	0.35

Nota: En esta tabla se puede obtener la relación agua cemento, de acuerdo (Guzmán, 2001).

La resistencia a la compresión promedio requerida y los valores del concreto sin aire adicionado se interpolaron para calcular la relación agua/cemento precisa de **0.42**.

5.2.1.6. Cálculo del contenido de cemento

Con la relación agua/cemento determinada y la cantidad de agua, se obtiene la cantidad de cemento, como se especifica a continuación:

Tabla 5.25

Cálculo del contenido de cemento.

CÁLCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO		
Relación agua/cemento	0.42	-
Agua	214	kg/m ³
Densidad del cemento	2900	kg/m ³
Cemento	509.52	kg
Volumen del cemento	0.18	m ³

Nota: En la presente tabla se observa los cálculos para la cantidad de cemento en peso y el volumen del mismo.

Los resultados obtenidos son que el cemento representa **0.18 m³** del metro cúbico de hormigón con un peso de **509.52 kg**.

5.2.1.7. Verificación de agregados de acuerdo a las recomendaciones granulométricas

Se determinó que los áridos están bien gradados, como se muestra en las tablas 5.4 y 5.13 para el agregado grueso y fino, respectivamente. Basándose en estos resultados, continuamos con el método ACI 211.

Los datos iniciales para la dosificación son los resultados obtenidos en los anteriores ensayos, como se presenta a continuación.

Tabla 5.26

Datos iniciales de dosificación.

DATOS INICIALES PARA UNA DOSIFICACIÓN CON 10% DE CAUCHO		
AGREGADO GRUESO		
TMN	19	mm
Masa unitaria compacta	1492.96	kg/m ³
Masa unitaria suelta	1394.86	kg/m ³
Densidad seca	2343.68	kg/m ³
Absorción	4.2	%
Humedad natural	2.96	%
Densidad del agua	1000	kg/m ³
AGREGADO FINO		
Módulo de finura	2.94	
Masa unitaria compacta	1513.63	kg/m ³
Masa unitaria suelta	1378.77	kg/m ³
Densidad seca	2435.61	kg/m ³
Absorción	4.7	%
Humedad natural	4.95	%
Densidad del cemento	2900	kg/m ³

Nota: En la presente tabla se observa los datos determinados en los ensayos anteriormente realizados de cada agregado.

5.2.1.8. Estimación del contenido de agregado grueso

Con base al tamaño máximo nominal de 19 mm y mediante el módulo de finura de 2.94 anteriormente determinados, debemos interpolar en la siguiente tabla para hallar el valor de “b/bo” siendo este el volumen de árido grueso por unidad de volumen de hormigón, dándonos un valor de **0.61 m³**.

Tabla 5.27

Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto (b/bo).

Tamaño máximo nominal de agregados, mm	Volumen de agregado grueso secado en el horno por unidad de volumen de concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino			
	Módulo de finura			
Pulgadas	2.4	2.6	2.8	3
(3/8")	0.5	0.48	0.46	0.44
(1/8")	0.59	0.57	0.55	0.53
(3/4")	0.66	0.64	0.62	0.6
(1")	0.71	0.69	0.67	0.65
(1 1/2")	0.76	0.74	0.72	0.7
(2")	0.78	0.76	0.74	0.72
(3")	0.81	0.79	0.77	0.75
150 (6")	0.87	0.85	0.83	0.81

Nota: Esta tabla se aplica unicamente cuando el árido cumple con la granulometría.

Posteriormente, dividimos la masa unitaria compacta de la grava para la densidad seca para calcular el volumen de partículas por metro cúbico de agregado grueso "bo", obteniendo un valor de **0.64 m³**. Finalmente, multiplicamos "b/bo" por "bo" para hallar el volumen del árido grueso para un metro cúbico, teniendo como resultado **0.39 m³**.

Tabla 5.28

Volumen estimado del agregado grueso.

MÓDULO DE FINURA ARENA	2.94	
TMN GRAVA	19	mm
b/bo	0.61	m ³
bo'	0.64	m ³
VOLUMEN DEL ÁRIDO GRUESO (B)	0.39	m ³

Nota: En esta tabla se realizan los cálculos correspondientes para la obtención del volumen del agregado grueso.

5.2.1.9. Estimación del contenido de agregado fino

La estimación del agregado fino se determina mediante la resta de 1 m³ siendo este el volumen total menos los volúmenes de los componentes anteriormente obtenidos, dando como resultado un volumen de **0.20 m³**.

Tabla 5.29

Volumen de árido fino para 1 m³ de hormigón convencional.

Volumen de árido fino	0.20	m ³
------------------------------	------	----------------

MATERIAL	PESO (Densidad*Volumen) kg/m ³	DENSIDAD kg/m ³	VOLUMEN m ³
Cemento	509.52	2900	0.18
Aire	0	0	0.02
Agua	214	1000	0.21
Grava	904.66	2343.68	0.39
Arena	497.60	2435.61	0.20
TOTAL	2125.78	kg/m ³	1.00

Nota: Obtención del contenido de árido fino en m³ de hormigón convencional

5.2.1.10. Ajuste de la cantidad de agua por el contenido de humedad del agregado

Mediante la ecuación para determinar el contenido de agua, se procede a examinar los signos de esta ecuación, ya que, cuando la humedad es superior a la absorción existe un exceso de agua, por lo tanto, se debe restar. En cambio, cuando la absorción es mayor a la humedad hay un déficit de agua, por ende, se debe sumar.

Tabla 5.30

Fórmula para determinar el agua en exceso o defecto.

AGUA EN EXCESO O DEFECTO	
FÓRMULA	
$A=M (H \pm Abs)$	
Peso de la muestra seca, kg	M
Humedad del agregado en tanto por uno	H
Absorción del agregado en tanto por uno	Abs

Nota: En esta tabla se observa la ecuación propuesta por el Ing. Diego Sánchez para determinar el agua en exceo o defecto de los agregados, de acuerdo (Guzmán, 2001).

Tabla 5.31

Ajuste de agua.

AJUSTE DE AGUA EN LOS ÁRIDOS							
ÁRIDO GRUESO				ÁRIDO FINO			
DATOS OBTENIDOS				DATOS OBTENIDOS			
Abs	Abs	4.2	%	Abs	Abs	4.69	%
Humedad	H	2.96	%	Humedad	H	4.95	%
Peso de la muestra seca	M	904.66	kg	Peso de la muestra seca	M	497.60	kg
CÁLCULOS							
A. fino	=	M (H - Abs)		1.28	kg		
A. grueso	=	M (H + Abs)		64.80	kg		
Ajuste de agua	=	A.grueso - A.fino		63.52	kg		

Nota: En esta tabla se puede observar las correcciones de agua para los áridos teniendo en cuenta la absorción y humedad de cada agregado.

Considerando el resultado de ajuste que es la resta del exceso de agua de la arena menos el agua faltante de la grava, sumamos al valor de agua que anteriormente determinados **214 kg/m³** dandonos así un total de agua de mezclado de **277.52 kg/m³**

Tabla 5.32

Agua de mezclado.

AGUA DE MEZCLADO		
DATOS OBTENIDOS		
Agua estimada	214	kg
Ajuste de agua	63.52	kg
CÁLCULO		
Agua de mezclado	277.52	kg/m ³

Nota: En esta tabla se puede observar la cantidad de agua necesaria para 1 m³ de hormigón

Posterior al ajuste de agua de mezclado por exceso o déficit de agua procedemos a cambiar la dosificación del árido grueso y fino resultante.

Tabla 5.33

Ajuste de humedad - Dosificación final para un hormigón convencional.

MATERIAL	PESO (Densidad*Volumen) kg/m³	DENSIDAD kg/m³	VOLUMEN m³	AJUSTES POR LA HUMEDAD kg/m³
Cemento	509.52	2900	0.18	509.52
Aire	0	0	0	0
Agua	214	1000	0.21	277.52
Grava	904.66	2343.68	0.39	931.47
Arena	497.60	2435.61	0.20	522.22

Densidad del Homigón	2125.78	kg/m ³
-------------------------	---------	-------------------

Nota: En esta tabla observamos los ajustes posteriores a la dosificación por exceso o defecto de agua para 1 m³ de hormigón para un hormigón convencional.

Tabla 5.34

Pesos para 1 m³ de hormigón convencional.

m³	Arido fino (kg)	Arido grueso (kg)	Cemento (kg)	Agua (kg)
1	522.22	931.47	509.52	277.52

Nota: En esta tabla podemos observar las cantidades de cada componente del hormigón convencional.

5.2.1.11. Ensayos del hormigón en estado fresco

- Asentamiento:** Para realizar este ensayo humedecemos el molde y verificamos que la superficie de la placa del cono sea rígida, húmeda y no absorbente. Se mantuvo firme el molde durante la colocación de mezcla, la cual se realizó cada tres capas y 25 varilladas en cada una, cuando completamos la capa superior se dejó un sobrante para enrasar e inmediatamente se retira verticalmente el molde, volteó el cono y tomó la altura desde la parte alta del hormigón hasta el centro desplazado de la superficie superior del hormigón NTE INEN 1578 (2010).

Fue importante durante la ejecución del ensayo siempre mantener limpio el perímetro del cono y al momento de retirar el molde con un movimiento vertical uniforme. Teniendo

presente que el tiempo de ejecución de este ensayo duró 2 ½ minutos desde la colocación de la mezcla hasta cuando se retira el molde, cumpliendo con las especificaciones dadas en la norma correspondiente NTE INEN 1578 (2010).

Basándonos en el procedimiento descrito, nuestra mezcla obtuvo un asentamiento de **10 cm**, siendo el esperado según la dosificación diseñada.

Figura 5.8

Asentamiento del hormigón convencional.



Nota: En la imagen se puede observar el asentamiento mediante el ensayo del cono de Abrams.

- **Determinación de la densidad y rendimiento:** Como se muestra en la norma NTE INEN 1579, la capacidad del recipiente de medición dependerá de TMN para determinar la densidad y el rendimiento del hormigón. De modo que, nuestro contenedor de medición cumple con las especificaciones y tiene una capacidad de 7 litros.

El procedimiento utilizado en este ensayo consiste en dividir el hormigón recién preparado en tres capas de aproximadamente el mismo volumen y luego compactar cada capa con 25 varilladas. Después de compactar cada capa, golpee los lados del recipiente con el martillo de goma de diez a quince veces. Finalmente, enrasamos la superficie de manera que el recipiente quede plano, limpiamos todo el hormigón sobrante y calculamos la masa del hormigón junto con el recipiente.

Tabla 5.35

Cálculos para la densidad del hormigón convencional.

CÁLCULOS PARA LA DENSIDAD EN EL HORMIGÓN FRESCO				
NORMA	NTE INEN 1579: HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, RENDIMIENTO Y COTENIDO DE AIRE (MÉTODO GRAVIMÉTRICO)			
DATOS OBTENIDOS				
Masa del recipiente de medición lleno con hormigón	Mc	18.697	kg	
Masa del recipiente de medición	Mm	2.829	kg	
Volumen del recipiente de medición	Vm	7.0724	lt	
CÁLCULOS				
Densidad (D)	=	2240.29	kg/m ³	

Nota: En esta tabla se detalla los cálculos para la densidad en el hormigón fresco.

Tabla 5.36

Cálculos para el rendimiento del hormigón convencional.

CÁLCULOS PARA EL RENDIMIENTO						
NORMA	NTE INEN 1579: HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, RENDIMIENTO Y COTENIDO DE AIRE (MÉTODO GRAVIMÉTRICO)					
DATOS OBTENIDOS						
Densidad del hormigón fresco				D	2240.29	
Masa total de todos los materiales en la amasada	Agua	5.55	kg	SUMA (M)	44.81	kg
	Cemento	10.19				
	Grava	18.63				
	Arena	10.44				
Volumen teórico del hormigón en el diseño de la mezcla				Yd	0.02	m ³
CÁLCULOS						
Rendimiento, volumen del hormigón producido por amasada (Y)			=	$\frac{M}{D}$	0.02000	m ³
Rendimiento relativo (Ry)			=	$\frac{Y}{Yd}$	1.00	-

Nota: En esta tabla se detalla los cálculos para el rendimiento.

Como observamos, el rendimiento es de **0.020 m³** equivalente al volumen teórico del hormigón en el diseño de mezcla, por lo tanto, el rendimiento relativo es igual a 1,00 garantizando el volumen de hormigón en su totalidad.

- **Contenido de aire:** De acuerdo con la norma NTE INEN 3122, elegimos el método B, que incluye un medidor de aire con un recipiente de medición y una cubierta de montaje. Este medidor utiliza una presión conocida para transmitir un volumen de aire conocido al recipiente de medición, que está lleno de hormigón con un porcentaje de volumen de aire desconocido. Cuando se completa la transmisión del volumen de aire, se puede medir el porcentaje de aire del hormigón con el manómetro NTE INEN 3122 (2018).

Para la elaboración de este ensayo previamente humedecemos el recipiente y colocamos en una superficie plana, nivelada y firme, colocamos la mezcla procurando que se distribuya en todo el perímetro del molde. La mezcla se colocó en tres capas, se compactó por varillado 25 veces uniformemente. Una vez llenado el envase colocamos la cubierta del ensamble y mediante el procedimiento anteriormente descrito del método B determinamos el porcentaje de aire, el cual para nuestra mezcla nos dio un valor del **2%**.

Figura 5.9

Ensayo del contenido de aire en el hormigón fresco del hormigón convencional



Nota: Ejecución del ensayo de contenido de aire en el hormigón fresco

5.2.2. Diseño de hormigón con fibras de caucho de neumáticos fuera de uso

5.2.2.1. Datos iniciales

Para este diseño se consideró los siguientes parámetros establecidos anteriormente en el diseño de hormigón convencional.

Tabla 5.37

Parámetros iniciales para el hormigón con caucho.

ASENTAMIENTO	10	cm
CONTENIDO DE AIRE	0.02	m ³
CONTENIDO DE AGUA	214	kg/m ³

Nota: Datos establecidos anteriormente en el diseño de hormigón convencional.

5.2.2.2. Elección del porcentaje de caucho

Para el diseño de hormigón con caucho basándonos en el procedimiento anteriormente realizado se consideraron diferentes porcentajes de caucho, sustituyendo el agregado fino, como se detalla a continuación.

Tabla 5.38

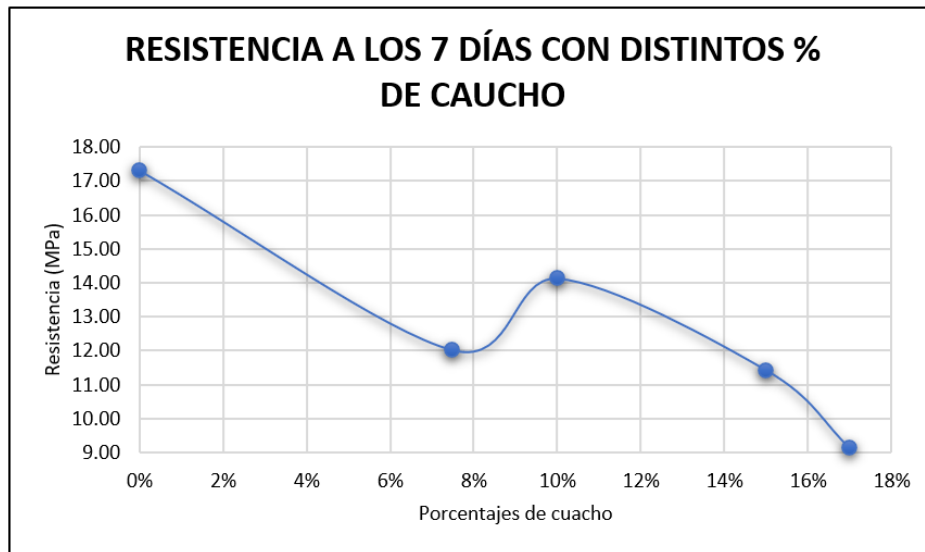
Resistencia con diferentes porcentajes de caucho con una relación a/c = 0.42.

% Porcentaje de caucho	Resistencia a los 7 días en MPa con una relación a/c = 0.42
0%	17.30
7.5%	12.01
10%	14.12
15%	11.42
17%	9.13

Nota: Mediante la presente tabla podemos observar las resistencias obtenidas a los 7 días con diferentes porcentajes de caucho, teniendo en cuenta que el de 0% hace referencia al hormigón convencional.

Figura 5.10

Resistencia a los 7 días con diferentes porcentajes de caucho.



Nota: Representación gráfica de la resistencia con distintos porcentajes de caucho.

Mediante los resultados obtenidos podemos observar que al 10% alcanzamos la resistencia más favorable a los 7 días, por ende, este porcentaje ocuparemos en la dosificación del hormigón como se detalla más adelante.

5.2.2.3. Granulometría del árido fino con caucho

Tabla 5.39

Granulometría del árido fino más caucho.

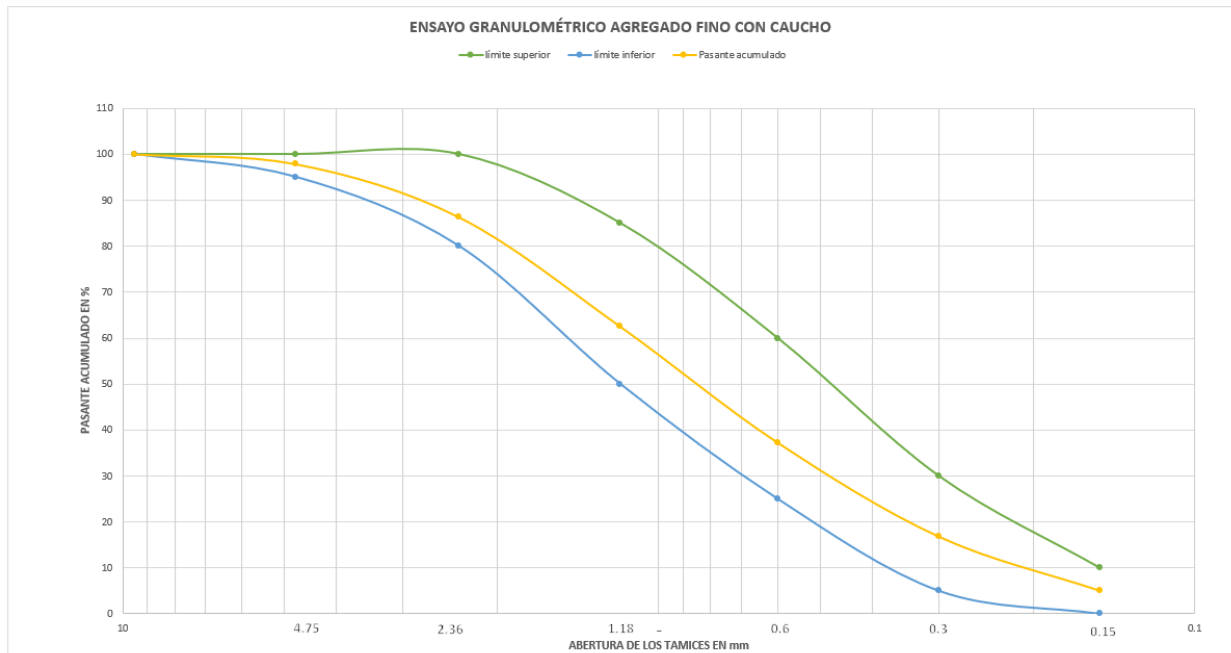
TAMIZ		Retenido Parcial(g)	Retenido Parcial %	Retenido Acumulado %	Pasante Acumulado%	limite inferior %	limite superior %
INEN	ASTM						
4.75 mm	No 4	9	2	2	98	95	100
2.36 mm	No 8	48	12	14	86	80	100
1.18 mm	No 16	99	24	38	63	50	85
600 µm	No 30	105	25	63	37	25	60
300 µm	No 50	85	20	83	17	5	30
150 µm	No 100	49	12	95	5	0	10
75 µm	No 200	19	5	100	0		
Bandeja		2	0	100	0		
		416					

MÓDULO DE FINURA	2.94
------------------	------

Nota: Mediante la presente tabla podemos observar los pesos retenidos en cada tamiz.

Figura 5.11

Curva granulométrica del árido fino con caucho.



Nota: Representación gráfica de la granulométrica de la arena con caucho.

5.2.2.4. Elección de la relación agua/cemento (a/c)

Sin embargo, para no afectar los factores antes mencionados, especialmente la resistencia, siendo la más importante en este estudio, hemos creado una gráfica utilizando los ensayos realizados con varias dosificaciones para hormigón con fibras de caucho de neumáticos fuera de uso, con la finalidad de encontrar la relación agua/cemento adecuada.

Tabla 5.40

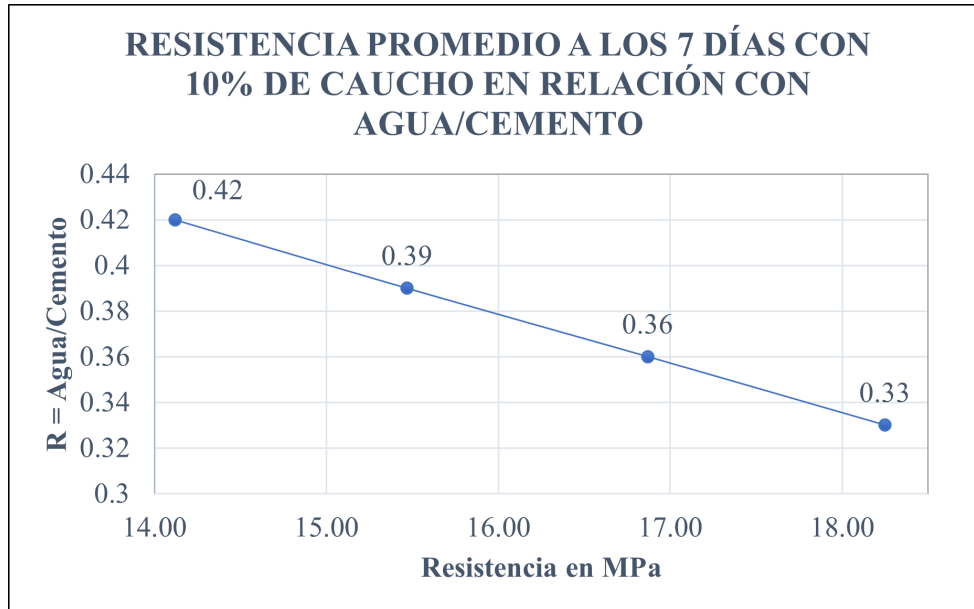
Resistencia promedio en MPa a los 7 días con 10% con varias relaciones agua cemento.

Relación Agua/Cemento	Resistencia (MPa) promedio a los 7 días con un 10% de caucho
0.42	14.12
0.39	15.41
0.36	16.93
0.33	18.25

Nota: En esta tabla se demuestra los resultados de los ensayos realizados con varias dosificaciones variando la relación agua/cemento.

Figura 5.12

Gráfica de la resistencia promedio a los 7 días con 10% de caucho en relación con agua/cemento.



Nota: Se puede observar como varía la resistencia dependiendo de la relación agua/cemento.

Con los ensayos realizados y la gráfica obtenida de los resultados, escogimos una relación agua/cemento de **0.36**, ya que cumple con el 70% de la resistencia esperada a los 7 días.

5.2.2.5. Cálculo del contenido del cemento

Con la relación agua/cemento determinada y la cantidad de agua, se obtiene la cantidad de cemento, como se especifica a continuación:

Tabla 5.41

Cálculo del contenido de cemento para la dosificación con 10% de caucho.

CÁLCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO		
Relación agua/cemento	0.36	-
Agua	214	kg/m ³
Densidad del cemento	2900	kg/m ³
Cemento	594.44	kg
Volumen del cemento	0.20	m ³

Nota: En la presente tabla se observa los cálculos para la cantidad de cemento en peso y el volumen del mismo.

Los resultados obtenidos son que el cemento representa **0.20 m³** del metro cúbico de hormigón con un peso de **594.44 kg**.

5.2.2.6. Verificación de agregados de acuerdo a las recomendaciones granulométricas

Se determinó que los áridos están bien gradados, como se muestra en las tablas 5.4 y 5.39 para el agregado grueso y fino, siendo este último la mezcla de arena y caucho. Basándose en estos resultados, decidimos continuar con el método ACI. Los datos iniciales para la dosificación son los resultados obtenidos en los anteriores ensayos, como se presenta a continuación.

Tabla 5.42

Datos iniciales de dosificación.

DATOS INICIALES PARA UNA DOSIFICACIÓN CON 10% DE CAUCHO		
AGREGADO GRUESO		
TMN	19	mm
Masa unitaria compacta	1492.96	kg/m ³
Masa unitaria suelta	1394.86	kg/m ³
Densidad seca	2343.68	kg/m ³
Absorción	4.2	%
Humedad natural	2.96	%
Densidad del agua	1000	kg/m ³
AGREGADO FINO		
Módulo de finura	2.94	
Masa unitaria compacta	1513.63	kg/m ³
Masa unitaria suelta	1378.77	kg/m ³
Densidad seca	2435.61	kg/m ³
Absorción	4.7	%
Humedad natural	4.95	%
Densidad del cemento	2900	kg/m ³

Nota: En la presente tabla se observa los datos determinados en los ensayos anteriormente realizados de cada agregado.

5.2.2.7. Estimación del contenido de agregado grueso

Con base al tamaño máximo nominal de 19 mm y mediante el módulo de finura de 2.94% anteriormente determinados, debemos interpolar en la siguiente tabla para hallar el valor de “b/bo” siendo este el volumen de árido grueso por unidad de volumen de hormigón, dándonos un valor de **0.61 m³**.

Tabla 5.43

Volumen del agregado grueso por unidad de volumen de concreto (b/bo).

Tamaño máximo nominal de agregados, mm	Volumen de agregado grueso secado en el horno por unidad de volumen de concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino			
	Módulo de finura			
Pulgadas	2.4	2.6	2.8	3
(3/8")	0.5	0.48	0.46	0.44
(1/8")	0.59	0.57	0.55	0.53
(3/4")	0.66	0.64	0.62	0.6
(1")	0.71	0.69	0.67	0.65
(1 1/2")	0.76	0.74	0.72	0.7
(2")	0.78	0.76	0.74	0.72
(3")	0.81	0.79	0.77	0.75
150 (6")	0.87	0.85	0.83	0.81

Nota: Esta tabla se aplica unicamente cuando el árido cumple con la granulometría.

Posteriormente, dividimos la masa unitaria compacta de la grava para la densidad seca para calcular el volumen de partículas de agregado grueso por metro cúbico de agregado grueso "bo", obteniendo un valor de **0.64 m³**. Finalmente, multiplicamos "b/bo" por "bo'" para hallar el volumen del árido grueso para un metro cúbico, teniendo como resultado **0.39 m³**.

Tabla 5.44

Volumen estimado del agregado grueso.

MÓDULO DE FINURA ARENA	2.94	
TMN GRAVA	19	mm
b/bo	0.61	m ³
bo'	0.64	m ³
VOLUMEN DEL ÁRIDO GRUESO (B)	0.39	m ³

Nota: En esta tabla se realizan los cálculos correspondientes para la obtención del volumen del agregado grueso.

5.2.2.8. Estimación del contenido de agregado fino (arena y fibras de caucho)

La estimación del agregado fino se determina mediante la resta del volumen total, es decir un 1 m³ menos los volúmenes de los componentes anteriormente obtenidos, dando como resultado un volumen de **0.19 m³** para la mezcla de arena y fibras de caucho.

Tabla 5.45

Volumen de agregado fino con fibras de caucho para 1 m³.

MATERIAL	PESO kg/m ³	DENSIDAD kg/m ³	VOLUMEN m ³
Cemento	594.44	2900	0.2
Aire	0	0	0.02
Agua	214	1000	0.21
Grava	904.66	2343.68	0.39
Árido fino	Caucho	7.09	405.23
	Arena	383.65	2435.61
TOTAL	2103.85	kg/m³	1

Densidad del Homigón	2103.85	kg/m ³
----------------------	---------	-------------------

Nota: Determinación de dosificación del árido fino con fibras de caucho en m³

5.2.2.9. Ajuste de la cantidad de agua por el contenido de humedad del agregado

Mediante la ecuación para determinar el contenido de agua, se procede a examinar los signos de esta ecuación, ya que, cuando la humedad es superior a la absorción, existe un exceso de agua, por lo tanto, se debe restar. En cambio, cuando la absorción es mayor a la humedad hay un déficit de agua, por ende, se debe sumar.

Tabla 5.46

Fórmula para determinar el agua en exceso o defecto.

AGUA EN EXCESO O DEFECTO	
FÓRMULA	
A=M (H ± Abs)	
Peso de la muestra seca, kg	M
Humedad del agregado en tanto por uno	H
Absorción del agregado en tanto por uno	Abs

Nota: En esta tabla se observa la ecuación propuesta por el Ing. Diego Sánchez para determinar el agua en exceso o defecto de los agregados, de acuerdo (Guzmán, 2001).

De acuerdo a lo anteriormente mencionado, obtuvimos los siguientes resultados, considerando solo la arena para las correcciones de humedad debido a que el caucho es un elemento que tiene capacidad de absorción.

Tabla 5.47*Ajuste de agua para hormigón con fibras de caucho.*

AJUSTE DE AGUA EN LOS ÁRIDOS							
ÁRIDO GRUESO				ÁRIDO FINO			
DATOS OBTENIDOS				DATOS OBTENIDOS			
Abs	Abs	4.20	%	Abs	Abs	4.69	%
Humedad	H	2.96	%	Humedad	H	4.95	%
Peso de la muestra seca	M	904.66	kg	Peso de la muestra seca	M	383.65	kg
CÁLCULOS							
A. fino	=	M (H - Abs)		0.99	kg		
A. grueso	=	M (H + Abs)		64.80	kg		
Ajuste de agua	=	A.grueso - A.fino		63.81	kg		

Nota: Cálculo de ajuste de agua en base a la humedad y aborción de los áridos.

Considerando el resultado de ajuste de agua del hormigón con fibras de caucho sumamos al valor de agua que anteriormente determinamos **214 kg/m³** dandonos así un total de agua de mezclado de **277.79 kg/m³**

Tabla 5.48*Agua de mezclado para hormigón con fibras de caucho.*

AGUA DE MEZCLADO		
DATOS OBTENIDOS		
Agua estimada	214	kg
Ajuste de agua	63.81	kg
CÁLCULO		
Agua de mezclado	277.81	kg/m ³

Nota: Agua total de mezclado para 1 m³.

En base al ajuste de agua determinado, obtenemos los siguientes resultados.

Tabla 5.49*Ajustes de humedad para hormigón con fibras de caucho - Dosificación final.*

MATERIAL	PESO kg/m ³	DENSIDAD kg/m ³	VOLUMEN m ³	AJUSTES POR LA HUMEDAD kg/m ³
Cemento	594.44	2900	0.2	594.44
Aire	0	0	0.02	0
Agua	214	1000	0.21	277.79
Grava	904.66	2343.68	0.39	931.47
Árido fino	Caucho	7.09	405.23	7.09
	Arena	383.65	2435.61	402.63

Densidad del Homigón	2103.85	kg/m ³
-------------------------	---------	-------------------

Nota: En esta tabla observamos los ajustes posteriores a la dosificación por exceso o defecto de agua para 1 m³ de hormigón con fibras de caucho.

Tabla 5.50*Pesos para 1m³ de hormigón con fibras de caucho para una relación a/c de 0.36.*

m ³	Arena (kg)	Caucho (kg)	Arido grueso (kg)	Cemento (kg)	Agua (kg)
1	402.63	7.09	931.47	594.44	277.79

Nota: Cantidades de los componente del hormigón con fibras de caucho.

5.2.2.10. Ensayos del hormigón en estado fresco

- **Asentamiento:**

Con base en el procedimiento previamente expuesto en el diseño de hormigón convencional, la mezcla obtuvo un asentamiento de **10 cm**, siendo el esperado según la dosificación diseñada.

Figura 5.13

Asentamiento



Nota: En la imagen se puede observar el asentamiento mediante el ensayo del cono de Abrams.

■ **Determinación de la densidad y rendimiento:**

Para este ensayo aplicamos el procedimiento mencionado previamente en el diseño de hormigón convencional, mediante el cual obtuvimos los siguientes resultados.

Tabla 5.51

Cálculos para la densidad.

CÁLCULOS PARA LA DENSIDAD EN EL HORMIGÓN FRESCO			
NORMA	NTE INEN 1579: HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, RENDIMIENTO Y COTENIDO DE AIRE (MÉTODO GRAVIMÉTRICO)		
DATOS OBTENIDOS			
Masa del recipiente de medición lleno con hormigón	Mc	18.331	kg
Masa del recipiente de medición	Mm	2.829	kg
Volumen del recipiente de medición	Vm	7.0724	lt
CÁLCULOS			
Densidad (D)	=	2188.62	kg/m ³

Nota: En esta tabla se detalla los cálculos para la densidad en el hormigón fresco.

Tabla 5.52

Cálculos para el rendimiento.

CÁLCULOS PARA EL RENDIMIENTO					
NORMA	NTE INEN 1579: HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO.				
DATOS OBTENIDOS					
Densidad del hormigón fresco			D	2188.62	
Masa total de todos los materiales en la amasada	Agua	5.55	kg	SUMA (M)	43.78
	Cemento	11.89			
	Arena	7.57			
	Grava	18.63			
	Caucho	0.14			
Volumen teórico del hormigón en el diseño de la mezcla			Yd	0.02	m ³
CÁLCULOS					
Rendimiento, volumen del hormigón producido por amasada (Y)		=	$\frac{M}{D}$	0.02000	m ³
Rendimiento relativo (Ry)		=	$\frac{Y}{Yd}$	1.00	-

Nota: En esta tabla se detalla los cálculos para el rendimiento.

Como observamos, el rendimiento es de **0.020 m³** equivalente al volumen teórico del hormigón en el diseño de mezcla, por lo tanto, el rendimiento relativo es igual a 1,00 garantizando el volumen de hormigón en su totalidad.

- **Contenido de aire:** De la misma manera como se realizó el ensayo de contenido de aire para el hormigón convencional, utilizamos el método B, el cual nos dio un valor del **2%**.

Figura 5.14

Ensayo del contenido de aire en el hormigón fresco



Nota: Ejecución del ensayo de contenido de aire en el hormigón fresco

5.2.3. Elaboración y curado de especímenes

5.2.3.1. Elaboración de especímenes

Para tomar las muestras del hormigón fresco debe tenerse ciertas consideraciones según la norma NTE INEN 1576 que se detallan a continuación:

1. **Cilindros:** Los especímenes de hormigón para resistencia a compresión deben ser cilindros con un diámetro de al menos tres veces el tamaño máximo nominal del árido grueso y una longitud del doble del diámetro. Los cilindros de 150 mm x 300 mm o 100 mm x 200 mm deben fraguar en posición vertical, para nuestro caso los cilindros serán de **100 mm X 200 mm**.
2. **Método de compactación:** para escoger el método de compactación se escoge en relación con el asentamiento, como lo demuestra la siguiente tabla:

Tabla 5.53

Requisitos para determinar el método de compactación

Asentamiento (mm)	Método de compactación
≥ 25	Varillado o vibración
< 25	Vibración

Nota: En la presente tabla se presentan los dos tipos de compactación según el asentamiento, de acuerdo (NTE INEN 1576, 2011).

Según la anterior tabla, el método de compactación sería el **varillado**, puesto que nuestro asentamiento es de 100 mm.

3. **Moldeo mediante varillado:** Dependiendo del tamaño de los cilindros previamente seleccionados, debe elegir de la siguiente tabla el número de capas y el número de golpes con varilla por capa.

Tabla 5.54

Requisitos para el moldeo mediante varillado

Tipo de espécimen y tamaño	Número de capas aproximadamente igual altura	Número de golpes con la varilla por capa
Cilindros:		
Diámetro (mm)		
100	2	25
150	3	25
225	4	50

Nota: En la presente tabla se presentan el número de capas y número de golpes dependiente del tamaño de los cilindros, de acuerdo (NTE INEN 1576, 2011).

Según el diámetro de nuestro cilindro correspondería **2 capas** con **25 golpes** con varilla por capa.

Después de elegir los moldes y el tipo de compactación, realizamos las probetas en una superficie plana y rígida colocando el hormigón fresco en 2 capas y 25 varilladas en cada una junto con su respectivo número de golpes. Compactamos la capa superior procurando penetrar hasta la capa inferior aproximadamente 25 mm. Luego, mediante los 25 golpes con el martillo de goma para cada capa, eliminamos las burbujas de aire que estén atrapadas en la mezcla. Finalmente, enrasamos la última capa de hormigón procurando que quede lo más nivelada posible. Al finalizar este ensayo las probetas deben mantenerse en un lugar seguro y se debe evitar la manipulación de las mismas durante 24 horas, de esta manera nos aseguramos que se efectúe correctamente el proceso de fraguado.

5.2.3.2. Curado de probetas

De la misma manera, acatando la norma NTE INEN 1576 se realiza el siguiente procedimiento:

1. **Curado inicial:** Después del moldeo, los especímenes deben almacenarse por hasta 48 horas a una temperatura de 16 °C a 27 °C en un lugar que no pierda humedad para evitar la pérdida de humedad, proteger todos los especímenes de la radiación solar con fundas plásticas (NTE INEN 1576, 2011).
2. **Curado final:** Después de completar el primer curado y dentro de treinta minutos después de retirar los especímenes de los moldes, curarlos a una temperatura de 23 ± 2 °C, colocarlos de manera vertical y mantener su superficie con agua durante todo el tiempo, utilizando cámaras de curado o tanques de almacenamiento que cumplan con las especificaciones de la norma NTE INEN 2538.

6. Resultados

Para llegar a realizar el diseño de hormigón con fibras de caucho de neumáticos fuera de uso, partimos de un hormigón convencional.

A partir del hormigón convencional con una relación agua/cemento igual a 0.42, que cumple con una resistencia de 24 MPa en 28 días, se procedió a determinar el porcentaje para sustituir el árido fino por caucho, siendo el 10% del volumen del agregado fino con una relación agua/cemento de 0.36, con un rendimiento relativo de 1 y el asentamiento esperado, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 6.1

Resultados del hormigón testigo y hormigón con 10% caucho con una relación agua/cemento = 0.36.

RESULTADOS DE PROBETAS CON RELACIÓN AGUA/CEMENTO = 0.36								
RESISTENCIA DEL HORMIGÓN EN MPA								
	HORMIGÓN TESTIGO		HORMIGÓN CON 10% DE CAUCHO					
			MUESTRA 1		MUESTRA 2		MUESTRA 3	
7 DÍAS	<i>Probeta 1</i>	<i>Probeta 2</i>	<i>Probeta 1</i>	<i>Probeta 2</i>	<i>Probeta 1</i>	<i>Probeta 2</i>	<i>Probeta 1</i>	<i>Probeta 2</i>
	19.5	22.35	17.31	17.47	17.65	16.77	17.91	16.98
	Resistencia promedio		Resistencia promedio		Resistencia promedio		Resistencia promedio	
	20.93		17.39		17.21		17.45	
PROMEDIO A LOS 7 DÍAS					17.35			
28 DÍAS	<i>Probeta 1</i>	<i>Probeta 2</i>	<i>Probeta 1</i>	<i>Probeta 2</i>	<i>Probeta 1</i>	<i>Probeta 2</i>	<i>Probeta 1</i>	<i>Probeta 2</i>
	30.23	29.8	23.45	24.51	24.25	24.69	24.8	24.02
	Resistencia promedio		Resistencia promedio		Resistencia promedio		Resistencia promedio	
	30.02		23.98		24.47		24.41	
PROMEDIO A LOS 28 DÍAS					24.29			

Nota: En la presente tabla se presentan los resultados obtenidos del presente proyecto.

Los resultados de las comparaciones entre la resistencia del hormigón con caucho y el hormigón testigo pueden variar dependiendo de los componentes específicos de la mezcla, las proporciones utilizadas y las condiciones de curado; sin embargo, estos hormigones mantienen una misma relación agua/cemento de 0.36.

En este caso, para obtener el comportamiento resistente tanto del hormigón testigo y del hormigón con 10% de caucho, se obtuvieron 4 ensayos en su totalidad. Se realizaron 2 cilindros de prueba para cada ensayo, a los 7 y a los 28 días.

Como se puede ver, en el caso del hormigón testigo, a los 7 días de su elaboración, se obtuvo una resistencia de 20.93 MPa y a los 28 días una resistencia de 30 MPa. Mientras que, en el caso del hormigón con caucho, a los 7 días de su elaboración se obtuvo una resistencia promedio entre las tres muestras de 17.35 MPa, y a los 28 días una resistencia de 24.29 MPa.

En el análisis de costos se determinó los siguientes resultados:

Tabla 6.2

Resultados de los costos para un metro cúbico de hormigón convencional

PRECIOS PARA LA ELABORACIÓN DE 1 m³ DE HORMIGÓN CONVENCIONAL			
Material	Precios \$	Cantidad de mezcla	Precio total \$
Arena (m ³)	17	0.33	5.59
Grava (m ³)	19.5	0.61	11.82
Cemento (kg)	0.158	509.52	80.51
Agua (kg)	0.00133	214	0.29
			98.21

Nota: En la presente tabla se presentan los resultados de los costos para un hormigón convencional

Tabla 6.3

Resultados de los costos para un metro cúbico de hormigón con el uso de fibras de caucho

PRECIOS PARA LA ELABORACIÓN DE 1 m³ DE HORMIGÓN CON FIBRAS DE			
Material	Precios \$	Cantidad de mezcla	Precio total \$
Arena (m ³)	17	0.25	4.31
Grava (m ³)	19.5	0.61	11.82
Cemento (kg)	0.158	594.44	93.93
Agua (kg)	0.00133	214	0.29
Caucho (kg)	0.50	7.09	3.55
			113.90

Nota: En la presente tabla se presentan los resultados de los costos para un hormigón con el uso de fibras de caucho

En el análisis de costos se pudo determinar que el hormigón convencional por metro cúbico tiene un costo de \$98.21 dólares, mientras que el hormigón con el uso de fibras de caucho tiene un costo de \$113.90, este incremento se debe a que en el hormigón con fibras de caucho se utilizó una relación agua/cemento de 0.36 por ende necesitamos más cemento que en el hormigón convencional.

7. Conclusiones

- El hormigón con el uso de fibras de neumáticos fuera de uso alcanzó la resistencia esperada de 24 MPa a los 28 días, lo que demuestra que su uso es amplio dentro de la construcción, por ejemplo en losas, vigas, columnas y muros en edificios residenciales, comerciales e industriales.
- De acuerdo a ensayos realizados sustituyendo la arena con distintos porcentajes de caucho, entre ellos 7.5%, 10%, 15% y 17%, pudimos determinar que el porcentaje más favorable es el 10% del árido fino.
- En el presente estudio, mediante ensayos realizados con diferentes valores de relación agua/cemento, pudimos analizar y determinar una relación $(a/c) = 0.36$, con el cual cumplimos con la resistencia esperada a los 28 días en el hormigón con el 10% de fibras de neumáticos fuera de uso.
- Con el análisis de costos se concluye que en la actualidad el hormigón con fibras de neumáticos resulta \$15.69 más costoso que el hormigón convencional, sin embargo, el uso de fibras de caucho en este estudio nos permite disminuir el uso de arena y a su vez la sobreexplotación de las canteras de este agregado, preservando los ecosistemas naturales y los recursos hídricos. De la misma manera, el uso del caucho es una estrategia efectiva para la gestión sostenible de residuos y la conservación de recursos naturales, el uso del caucho de los rellenos sanitarios como recurso aprovechable. Además, al reducir la acumulación de desechos, promover la economía circular y mejorar la calidad del aire, su utilización genera beneficios ambientales, económicos y sociales. La incorporación del caucho reciclado en el hormigón es un paso importante hacia la promoción de un desarrollo sostenible y la reducción del impacto ambiental de los rellenos sanitarios.

8. Recomendaciones

- Es necesario crear empresas en nuestra ciudad que busquen generar soluciones a los problemas ambientales que existen en la actualidad, volviéndose más rentables, comprometidas con el cuidado del medio ambiente y competitivas, como es el caso de la empresa ECSADE, ubicada en la provincia del Guayas, la cual mediante el uso de neumáticos reciclados ofrece distintos tipos de productos los cuales son aplicados dentro del área de construcción como pudimos conocer en este estudio.
- Debido a la falta actual de tratamiento de desechos, es importante desarrollar nuevas opciones que promuevan la conciencia ambiental. Por lo tanto, se debe motivar a los proyectos que involucren la incorporación de materiales reciclados y que busquen la optimización de los recursos para reducir la sobreexplotación de las minas y la contaminación causada por la fabricación de hormigón, uno de los componentes más utilizados en la industria de la construcción.
- De acuerdo a este estudio, puede ser la base para futuras investigaciones como por ejemplo la incorporación de aditivos, el estudio a flexión con el hormigón con fibras de neumáticos fuera de uso, verificar la durabilidad a largo plazo en los hormigones.

Referencias Bibliográficas

- Aplicaciones - Ecsade.* (s.f.). Descargado de <https://www.ecsade.com/aplicaciones/>
- Bermudez Guerrero, H. B. (2018). *Impacto ambiental por la extracción de arena en el sector san jacinto de la parroquia charapoto del cantón sucre* (B.S. thesis). JIPIJAPA-UNESUM.
- Cachiguango Remache, G. C. (2014). *Hormigones de alta resistencia $f'c = 45$ MPa, utilizando agregados del sector de ambuquí y cemento armado especial - lafarge.* (Tesis Doctoral, Universidad Central del Ecuador, Quito). Descargado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2995/1/T-UCE-0011-114.pdf>
- de Guzman, D. (s.f.). *TECNOLOGIA DEL CONCRETO y DEL MORTERO.* Bhandar Editores. Descargado de <https://books.google.com.ec/books?id=EWq-QPJhsRAC>
- ECSADE S.A, . (2020). *Caucho flex.* Guayas.
- Frías Muñoz, G. G., y Salazar Amagua, R. F. (2019). *Diseño de hormigón de alta resistencia con escoria de acero reciclado como sustitución parcial de agregados* (B.S. thesis). Quito: UCE.
- Gallagher, L., Yusuf, H., Chuah, S., Lynggaard, J., y Boiko, P. (2022, 05). *Recommendation 4 : Integrate policy legal frameworks strategically in unep 2022. sand and sustainability: 10 strategic recommendations to avert a crisis. grid-geneva, united nations environment programme, geneva, switzerland.* doi: 10.13140/RG.2.2.12553.11369
- Guzmán, D. S. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero.* Pontificia Universidad Javeriana.
- Hidalgo Figueroa, V. L., y Rodríguez Reyes, A. A. (2015). *Diseño de hormigón empleando probetas de hormigón ensayados y triturados como sustituto parcial del agregado grueso* (B.S. thesis). La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2015.
- Kosmatka, S. H., Panarese, W. C., y Bringas, M. S. (1992). *Diseño y control de mezclas de concreto.* Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
- León Altamirano, C. A., y Rosero Sangucho, G. E. (2016). *Optimización del diseño de una mezcla de hormigón permeable a partir de tres distintas graduaciones.* (B.S. thesis). Quito: UCE.
- Mancheno Guallichico, M. S., y Salazar Pozo, B. H. (2021a). *Diseño de hormigón permeable de alta resistencia, con adición de aditivo espumante y perlas de poliestireno expandido, para la aplicación en pavimentos* (B.S. thesis). Quito: UCE.

- Mancheno Guallichico, M. S., y Salazar Pozo, B. H. (2021b). *Diseño de hormigón permeable de alta resistencia, con adición de aditivo espumante y perlas de poliestireno expandido, para la aplicación en pavimentos* (B.S. thesis). Quito: UCE.
- Mohammadi, I., y Khabbaz, H. (2015). Shrinkage performance of crumb rubber concrete (crc) prepared by water-soaking treatment method for rigid pavements. *Cement and Concrete Composites*, 62, 106–116.
- Muñoz, S., Vidaurre, J., Asenjo, J., y Gavidia, R. (2021). *uso del caucho de neumáticos triturados y aplicados al concreto: Una revisión literaria*. línea] Revista de Investigación Talentos.
- Nazer, A., Honores, A., Chulak, P., y Pavez, O. (2019). Sustainable concrete based on out-of-use tire fibers. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 35(3), 723–729.
- NEC SE HM, . (2014). *Estructuras de hormigón armado*. Ecuador.
- NTE INEN 1576, . (2011). *Hormigón de cemento hidráulico. elaboración y curado en obra de especímenes para ensayo*. Quito.
- NTE INEN 1578, . (2010). *Hormigón de cemento hidráulico. determinación del asentamiento*. Quito.
- NTE INEN 2380, . (2011). *Cemento hidráulico. requisitos de desempeño para cementos hidráulicos*. Quito.
- NTE INEN 2566, . (2010). *Áridos. reducción de muestras a tamaño de ensayo*. Quito.
- NTE INEN 3122, . (2018). *Hormigón de cemento hidráulico. determinación del contenido de aire en el hormigón fresco por el método de presión*. Quito.
- NTE INEN 490, . (2011). *Cementos hidráulicos compuestos. requisitos*. Quito.
- NTE INEN 694, . (2010). *Hormigón y áridos para elaborar hormigón. tecnología*. Quito.
- NTE INEN 696, . (2011). *Áridos. análisis granulométrico en los áridos fino y grueso*. Quito.
- NTE INEN 697, . (2010). *Áridos. determinación del material más fino que pasa el tamiz con aberturas de 74 μ m (no.200), mediante lavado*. Quito.
- NTE INEN 855, . (2010). *Áridos. determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón*. Quito.
- NTE INEN 856, . (2010). *Áridos para hormigón: Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido afino*. Quito.
- NTE INEN 857, . (2010). *Áridos para hormigón: Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso*. Quito.
- NTE INEN 858, . (2010). *Áridos para hormigón. determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos*. Quito.
- NTE INEN 860, . (2011). *Áridos. determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37.5 mm mediante el uso de la máquina de los ángeles*. Quito.
- NTE INEN 862, . (2011). *Áridos para hormigón. determinación del contenido total de humedad*. Quito.
- NTE INEN 872, . (2011). *Áridos para hormigón. requisitos*. Quito.

- Peláez Arroyave, G. J., Velásquez Restrepo, S. M., y Giraldo Vásquez, D. H. (2017). Aplicaciones de caucho reciclado: una revisión de la literatura. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 27(2), 27–50.
- Pérez, S. P. M., Valdera, J. D. V., Bustamante, J. S. A., Paredes, R. G., y cols. (2021). El uso del caucho de neumáticos triturados y aplicados al concreto: Una revisión literaria. *Revista de Investigación Talentos*, 8(1), 36–51.
- Toro Tipán, E. A., y Villarreal García, G. A. (2019). *Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas de un hormigón alivianado con poliestireno expandido con relación a un hormigón de peso normal* (B.S. thesis). PUCE-Quito.
- Vargas, G., Alejandro, V., Esparza, O., David, J., Gubio, M., y Wladimir, L. (2022). *Sustitución del cemento con un pasivo ambiental “polvo de basalto” para el diseño de hormigones estructurales*. (Tesis Doctoral, Universidad Central del Ecuador, Quito). Descargado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/27614/1/FING-CIC-GALARZA%20VICTOR-ORTIZ%20JOSE.pdf>

ANEXOS

Anexo A: Registro de datos para el ensayo de compresión de los especímenes

Hormigón testigo

Tabla 8.1

Registro de datos del hormigón testigo a los 7 días.

HORMIGÓN TESTIGO			
7		días	
Fecha de elab		10/5/2023	
Fecha de roptura		17/5/2023	
Cilindro 1		Cilindro 2	
ϕ (cm)	10.18	ϕ (cm)	10.21
ϕ (cm)	10.18	ϕ (cm)	10.06
ϕ (cm)	10.30	ϕ (cm)	10.31
ϕ prom	10.22	ϕ prom	10.19
h (cm)	20.30	h (cm)	20.40
Resistencia (MPa)	22.35	Resistencia (MPa)	19.50
Peso (kg)	3.77	Peso (kg)	3.75
Resistencia promedio			
20.93		MPa	

Nota: En la presente tabla se presentan los datos registrados en el hormigón testigo a los 7 días.

Tabla 8.2

Registro de datos del hormigón testigo a los 14 días.

HORMIGÓN TESTIGO			
14		días	
Fecha de elab		10/5/2023	
Fecha de roptura		24/5/2023	
Cilindro 1		Cilindro 2	
ϕ (cm)	10.23	ϕ (cm)	10.20
ϕ (cm)	10.32	ϕ (cm)	10.28
ϕ (cm)	10.18	ϕ (cm)	10.23
ϕ prom	10.24	ϕ prom	10.24
h (cm)	20.40	h (cm)	20.00
Resistencia (MPa)	26.64	Resistencia (MPa)	26.32
Peso (kg)	3.73	Peso (kg)	3.60
Resistencia promedio			
26.48		MPa	

Nota: En la presente tabla se presentan los datos registrados en el hormigón testigo a los 14 días.

Tabla 8.3

Registro de datos del hormigón testigo a los 28 días.

HORMIGÓN TESTIGO			
28		días	
Fecha de elab		10/5/2023	
Fecha de roptura		7/6/2023	
Cilindro 1		Cilindro 2	
ϕ (cm)	10.26	ϕ (cm)	10.20
ϕ (cm)	10.36	ϕ (cm)	10.30
ϕ (cm)	10.35	ϕ (cm)	10.36
ϕ prom	10.32	ϕ prom	10.29
h (cm)	20.40	h (cm)	20.40
Resistencia (MPa)	30.23	Resistencia (MPa)	29.80
Peso (kg)	3.78	Peso (kg)	3.70
Resistencia promedio			
30.02		MPa	

Nota: En la presente tabla se presentan los datos registrados en el hormigón testigo a los 28 días.

Hormigón con 10% de caucho de neumáticos fuera de uso

Muestra 1

Tabla 8.4

Registro de datos del hormigón con 10% de caucho a los 7 días.

MUESTRA 1			
7		días	
Fecha de elab		16/5/2023	
Fecha de roptura		23/5/2023	
Cilindro 1		Cilindro 2	
ϕ (cm)	10.27	ϕ (cm)	10.22
ϕ (cm)	10.36	ϕ (cm)	10.06
ϕ (cm)	10.21	ϕ (cm)	10.25
ϕ prom	10.28	ϕ prom	10.18
h (cm)	20.50	h (cm)	20.40
Resistencia (MPa)	17.31	Resistencia (MPa)	17.47
Peso (kg)	3.61	Peso (kg)	3.52
Resistencia promedio			
17.39		MPa	

Nota: En la presente tabla se presentan los datos registrados en el hormigón con 10% de caucho a los 7 días.

Tabla 8.5

Registro de datos del hormigón con 10% de caucho a los 14 días.

MUESTRA 1			
14		días	
Fecha de elab		16/5/2023	
Fecha de roptura		30/5/2023	
Cilindro 1		Cilindro 2	
ϕ (cm)	10.32	ϕ (cm)	10.21
ϕ (cm)	10.28	ϕ (cm)	10.25
ϕ (cm)	10.29	ϕ (cm)	10.34
ϕ prom	10.30	ϕ prom	10.27
h (cm)	20.40	h (cm)	20.50
Resistencia (MPa)	22.95	Resistencia (MPa)	22.33
Peso (kg)	3.65	Peso (kg)	3.64
Resistencia promedio			
22.64		MPa	

Nota: En la presente tabla se presentan los datos registrados en el hormigón con 10% de caucho a los 14 días.

Tabla 8.6

Registro de datos del hormigón con 10% de caucho a los 28 días.

MUESTRA 1			
28		días	
Fecha de elab		16/5/2023	
Fecha de roptura		13/6/2023	
Cilindro 1		Cilindro 2	
ϕ (cm)	10.30	ϕ (cm)	10.16
ϕ (cm)	10.26	ϕ (cm)	10.34
ϕ (cm)	10.38	ϕ (cm)	10.33
ϕ prom	10.31	ϕ prom	10.28
h (cm)	20.40	h (cm)	20.50
Resistencia (MPa)	23.45	Resistencia (MPa)	24.51
Peso (kg)	3.68	Peso (kg)	3.63
Resistencia promedio			
23.98		MPa	

Nota: En la presente tabla se presentan los datos registrados en el hormigón con 10% de caucho a los 28 días.

Muestra 2

Tabla 8.7

Registro de datos del hormigón con 10% de caucho a los 7 días, muestra 2.

MUESTRA 2			
7		días	
Fecha de elab		17/5/2023	
Fecha de roptura		24/5/2023	
Cilindro 1		Cilindro 2	
ϕ (cm)	10.28	ϕ (cm)	10.29
ϕ (cm)	10.30	ϕ (cm)	10.34
ϕ (cm)	10.31	ϕ (cm)	10.27
ϕ prom	10.30	ϕ prom	10.30
h (cm)	20.35	h (cm)	19.90
Resistencia (MPa)	16.77	Resistencia (MPa)	17.65
Peso (kg)	3.66	Peso (kg)	3.46
Resistencia promedio			
17.21		MPa	

Nota: En la presente tabla se presentan los datos registrados en el hormigón con 10% de caucho a los 7 días.

Tabla 8.8

Registro de datos del hormigón con 10% de caucho a los 28 días, muestra 2.

MUESTRA 2			
28		días	
Fecha de elab		17/5/2023	
Fecha de roptura		14/6/2023	
Cilindro 1		Cilindro 2	
ϕ (cm)	10.20	ϕ (cm)	10.20
ϕ (cm)	10.20	ϕ (cm)	10.25
ϕ (cm)	10.30	ϕ (cm)	10.20
ϕ prom	10.23	ϕ prom	10.22
h (cm)	20.40	h (cm)	20.40
Resistencia (MPa)	24.25	Resistencia (MPa)	24.69
Peso (kg)	3.64	Peso (kg)	3.68
Resistencia promedio			
24.47		MPa	

Nota: En la presente tabla se presentan los datos registrados en el hormigón con 10% de caucho a los 28 días.

Muestra 3

Tabla 8.9

Registro de datos del hormigón con 10% de caucho a los 7 días, muestra 3.

MUESTRA 3			
7		días	
Fecha de elab		18/5/2023	
Fecha de roptura		25/5/2023	
Cilindro 1		Cilindro 2	
ϕ (cm)	10.27	ϕ (cm)	10.32
ϕ (cm)	10.19	ϕ (cm)	10.31
ϕ (cm)	10.23	ϕ (cm)	10.22
ϕ prom	10.23	ϕ prom	10.28
h (cm)	20.35	h (cm)	20.40
Resistencia (MPa)	17.91	Resistencia (MPa)	16.98
Peso (kg)	3.64	Peso (kg)	3.66
Resistencia promedio			
17.45		MPa	

Nota: En la presente tabla se presentan los datos registrados en el hormigón con 10% de caucho a los 7 días.

Tabla 8.10

Registro de datos del hormigón con 10% de caucho a los 28 días.

MUESTRA 3			
28		días	
Fecha de elab		18/5/2023	
Fecha de roptura		15/6/2023	
Cilindro 1		Cilindro 2	
ϕ (cm)	10.30	ϕ (cm)	10.35
ϕ (cm)	10.11	ϕ (cm)	10.20
ϕ (cm)	10.30	ϕ (cm)	10.25
ϕ prom	10.24	ϕ prom	10.27
h (cm)	20.40	h (cm)	20.50
Resistencia (MPa)	24.80	Resistencia (MPa)	24.02
Peso (kg)	3.65	Peso (kg)	3.68
Resistencia promedio			
24.41		MPa	

Nota: En la presente tabla se presentan los datos registrados en el hormigón con 10% de caucho a los 28 días.

Anexo B: Registro fotográfico

Figura 8.1

Granulometría del agregado fino.



Nota: El análisis granulométrico del árido fino se realizó mediante una tamizadora eléctrica con un tiempo de tamizado de tres minutos.

Figura 8.2

Componentes del hormigón con caucho.



Nota: Dosificación final del diseño para la elaboración del hormigón con caucho.

Figura 8.3

Elaboración de hormigón con caucho.



Nota: Para la obtención de una mezcla homogénea de los componentes del hormigón con caucho se usó una concretora.

Figura 8.4

Elaboración de probetas de hormigón con caucho.



Nota: Las probetas fueron realizadas en cilindros pequeños normados de diámetro 10 cm y altura 20 cm aproximadamente.

Figura 8.5

Ensayo de asentamiento.



Nota: Realización del ensayo de asentamiento con el Cono de Abrahms.

Figura 8.6

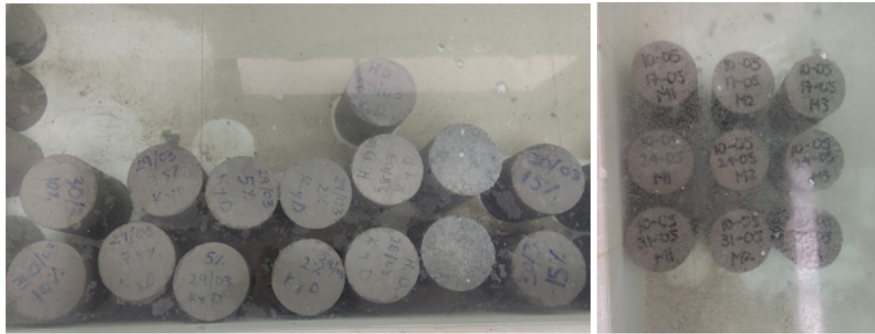
Ensayo de densidad del hormigón con caucho.



Nota: Una vez realizado el procedimiento normado para el ensayo de densidad del hormigón se procede con el enrasamiento.

Figura 8.7

Curado de cilindros.



Nota: Posterior al desencofrado de los cilindros previamente identificados se procede a introducirlos en la piscina de curado hasta la fecha de ruptura.

Figura 8.8

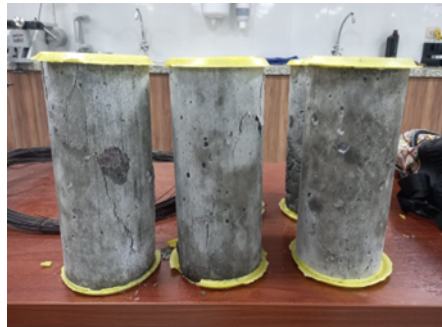
Cilindros de hormigón con caucho.



Nota: Previo al ensayo a compresión de los cilindros se retira el exceso de humedad para realizar el capping con azufre correspondiente.

Figura 8.9

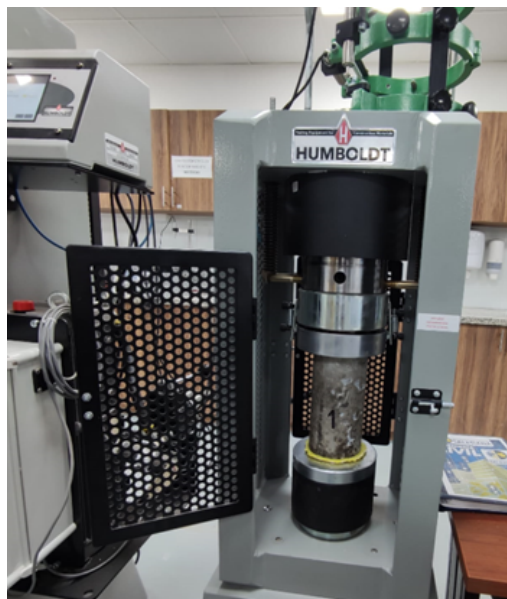
Capecado de cilindros.



Nota: Es imprescindible el capecado de los cilindros para unificar la superficie y la aplicación de fuerzas.

Figura 8.10

Ensayo a compresión de probetas.



Nota: Llevar el ensayo a compresión de los cilindros en la máquina normada para obtener la resistencia del diseño.

Figura 8.11

Resultado de la resistencia.

TYPE	PEAK VALUES	UNITS
210403H 100K	199.35	kN
Diameter	10.23	cm
Length	20.40	cm
Cross-Sectional Area	82.19	cm ²
Sample Age	28	day(s)
Corrected Stress	24.25	MPa
Average Pace Rate	0.24	MPa/sec
Fracture Type	Type 1	
Correction Factor	1.000	
Temperature @ START	17.5	°C
Temperature @ FINISH	17.7	°C

Nota: Resultado de la resistencia a los 28 días con el 10% de caucho.

Figura 8.12

Resultado de la resistencia.

TYPE	PEAK VALUES	UNITS
210403H 100K	202.53	kN
Diameter	10.22	cm
Length	20.40	cm
Cross-Sectional Area	82.03	cm ²
Sample Age	28	day(s)
Corrected Stress	24.69	MPa
Average Pace Rate	0.24	MPa/sec
Fracture Type	Type 1	
Correction Factor	1.000	
Temperature @ START	18.3	°C
Temperature @ FINISH	18.6	°C

Nota: Resultado de la resistencia a los 28 días con el 10% de caucho.

Figura 8.13

Resultado de la resistencia.

TYPE	PEAK VALUES	UNITS
210403H 100K	204.23	kN
Diameter	10.24	cm
Length	20.40	cm
Cross-Sectional Area	82.35	cm ²
Sample Age	28	day(s)
Corrected Stress	24.80	MPa
Average Pace Rate	0.24	MPa/sec
Fracture Type	Type 1	
Correction Factor	1.000	
Temperature @ START	20.7	°C
Temperature @ FINISH	20.8	°C

Nota: Resultado de la resistencia a los 28 días con el 10% de caucho.