



Facultad de Ingeniería
Escuela de Construcción Civil

"Influencia de la Incorporación de Caucho Reciclado sobre Propiedades del Mortero de Cemento"

Por

Paulina Inés Tapia Herrera

Tesis para optar al Grado de Licenciado en Ciencias de la Construcción
y al Título de Ingeniero Constructor

Prof. Guía: Juan Eduardo Egaña Ramos

Abril, 2015

*Siempre sueña y apunta más alto de lo que sabes que puedes lograr
(W. Faulkner).*

Fue un camino largo, pero al llegar al término de esta etapa valoro cada lágrima y esfuerzo realizado. Quisiera dedicar esta tesis a todos los que me acompañaron en este proceso; familia y amigos, sin ustedes esto no podría ser posible...

Agradecimientos

A mi familia en especial a mi padre Reinaldo Tapia y mi madre Iris Herrera, ya que gracias a su sacrificio e podido completar una etapa más en mi vida. También a mis tías y mi mami quienes son un pilar fundamental. Y a mi abuelito, el cual espero que este orgulloso de este logro, y estoy segura que me acompaño desde su actual lugar.

Mi hermano Alex y mis sobrinos, Javiera y Martín, quienes me entregan alegría y ánimo para continuar superándome día a día. A mis primos y familia, en especial a Leandro, recuerda cada vez está más cerca tu meta.

A mis compañeros de Universidad.

A Pérez por ayudarme, sin ti el laboratorio hubiese sido un suplicio.

A Domy y Javi, además de las personas que dedicaron un tiempo para leer y ayudar en el crecimiento de este hij@, gracias. También a Francisca, Abel, Pablo, María José y Vale

A Gilda, gracias por tu amistad sincera y acompañarme en estas últimas etapas en la Universidad, me ayudaste a seguir adelante cuando este proceso se volvió un infierno, gracias por tus palabras de aliento y tus retos en los momentos indicados. El camino es largo y muchas veces tortuoso, pero lo lindo es que se puede.

Como no mencionar a mi profesor guía Juan Egaña, muchas gracias por todos sus consejos para que esta tesis llegase a buen puerto, por su paciencia y comprensión. Este es el comienzo de una nueva etapa, gracias.

A todos los profesores que contribuyeron con mi aprendizaje y a los que aportaron con un granito de arena para poder finalizar. También a Aldo y los laboratoristas, por su buena disposición, muchas gracias.

Índice

Dedicatoria	2
Agradecimientos.....	3
Índice	4
Lista de Tablas	7
Lista de Figuras	8
Resumen	9
Abstract	10
Capítulo 1: Antecedentes Generales	11
1.1 Introducción	11
1.2 Planteamiento del problema.....	12
1.3 Objetivos	14
1.3.1 Objetivo general	14
1.3.2 Objetivos específicos	14
1.4 Hipótesis de la Investigación	14
1.5 Alcances y Limitaciones	14
1.6 Metodología de la Investigación	15
Capítulo 2: Marco Teórico	16
2.1 Generalidades	16
2.2 Presentación del mortero.....	16
2.3 Posibles aplicaciones del mortero:	17
2.4 Propiedades del mortero con agregado de neumático fuera de uso	18
2.4.1 Características en estado fresco	18
2.4.1.1 Consistencia.....	18
2.4.2 Características en estado endurecido	19
2.4.2.1 Resistencia mecánica a flexión y compresión.....	19
2.4.2.2 Absorción de agua	20
2.4.2.3 Densidad aparente.....	20
2.4.2.4 Permeabilidad al agua	20
2.5 Caucho.....	21
2.5.1 Origen	21
2.5.2 Neumáticos usados.....	21
2.5.3 Ventajas de la utilización de caucho.....	22
2.5.4 Desventajas de la utilización de caucho.....	22
2.5.5 Reciclaje de Neumático.	23

2.6 Otras investigaciones que contemplan la utilización de caucho.	24
2.7 Resumen.....	27
Capítulo 3: Diseño Experimental	28
3.1 Generalidades	28
3.2 Planteamiento y definición de las variables.....	28
3.2.1 Variables independientes.....	28
3.2.2 Variables dependientes.	29
3.2.3 Variables de control	29
3.3 Etapas de la actividad experimental.....	30
3.3.1 Metodología	30
3.3.2 Explicación de experiencia	31
3.4 Equipamiento para determinar las variables.	32
3.5 Ensayos	35
3.5.1 Ensayo de consistencia	35
3.5.1.1 Procedimiento	35
3.5.2 Ensayo de absorción de agua	36
3.5.2.1 Procedimientos	36
3.5.3 Ensayo de permeabilidad al agua.....	37
3.5.3.1 Confección y conservación de las probetas	37
3.5.3.2 Preparación de las probetas enmoldadas.	37
3.5.3.3 Ensayos	38
3.5.3.4 Medida de penetración	38
3.5.4 Ensayo de resistencia mecánica a flexión y compresión.	39
3.5.4.1 Preparación.....	39
3.5.4.2 Conservación	39
3.5.4.3 Procedimiento a Flexión	40
3.5.4.4 Procedimiento a Compresión.....	40
3.5.5 Determinación de densidad aparente	41
3.5.5.1 Procedimiento	41
3.5.5.2 Cálculos	41
Capítulo 4: Desarrollo Experimental	42
4.1 Generalidades	42
4.2 Materiales	42
4.2.1 Agua	42
4.2.2 Árido	42
4.2.3 Caucho	42
4.2.4 Cemento.....	42

4.3 Caracterización de los materiales	43
4.3.1 Granulometría Arena.....	43
4.3.2 Densidades Arena.....	45
4.4 Caracterización del Caucho.....	47
4.4.1 Granulometría del Caucho	47
4.4.2 Densidades del Caucho	49
4.5 Granulometría Arena/Caucho.....	51
4.6 Dosificación.....	54
4.6.1 Dosificación mortero patrón.	54
Capítulo 5: Presentación y análisis de resultados	57
5.1 Generalidades	57
5.2 Consistencia del mortero: Propiedad en estado fresco.....	58
5.3 Absorción de agua.....	60
5.4 Densidad aparente del mortero	62
5.5 Resistencia mecánica.....	64
5.4.1 Resistencia a flexión	65
5.4.2 Resistencia a compresión.....	67
5.6 Permeabilidad	70
Capítulo 6: Conclusiones y futuras investigaciones	72
6.1 Generalidades	72
6.2 Relacionadas con el objetivo general e hipótesis.....	72
6.3 Relacionadas con los objetivos específicos.	72
6.4 Futuras investigaciones.	73
Bibliografía.....	74
Anexos.....	76
Anexo 1: Demostración cálculos de dosificación	76

Lista de Tablas

Tabla 3.1 Variables dependientes.....	29
Tabla 3.2 Dimensión probetas según variables	31
Tabla 3.3 Clasificación de mortero por Consistencia.....	35
Tabla 4.1 Granulometría Arena	43
Tabla 4.2 Densidades y absorción arena.	46
Tabla 4.3 Granulometría fracciones de caucho promedio de tres ensayos.....	47
Tabla 4.4 Granulometría Caucho tamaño Mezcla	47
Tabla 4.5 Densidad neta del Caucho.....	49
Tabla 4.6 Densidad aparente del Caucho	50
Tabla 4.7 Resumen densidades del Caucho.....	50
Tabla 4.8 Granulometría arena – caucho 5%.....	51
Tabla 4.9 Granulometría arena – caucho 10%	51
Tabla 4.10 Granulometría arena – caucho 15%	52
Tabla 4.11 Granulometría arena – caucho 20%	52
Tabla 4.12 Dosis de agua según Módulo de finura de la arena	54
Tabla 4.13 Aire atrapado según dosis de cemento.	54
Tabla 4.14 Dosificación muestra patrón en volumen y kilos.	56
Tabla 4.15 Dosificaciones a fabricar	56
Tabla 5.1 Resultados ensayo consistencia	58
Tabla 5.2 Requisitos de consistencia para distintos usos del mortero.....	59
Tabla 5.3 Usos del mortero según los resultados de consistencia.....	59
Tabla 5.4 Resultados ensayo de absorción de agua a 24 horas.....	60
Tabla 5.5 Resultados ensayo de absorción de agua a 14 días.	61
Tabla 5.6 Resultado de ensayos de densidad aparente	62
Tabla 5.7 Variación de densidad aparente comparada con muestra patrón	63
Tabla 5.8 Resultados ensayos de flexión (kg/cm ²)	65
Tabla 5.9 Resultados ensayos de flexión (kg/cm ²)	66
Tabla 5.10 Resultados ensayo a compresión (Kg/cm ²).....	67
Tabla 5.11 Resultados variaciones	68
Tabla 5.12 Requisitos de resistencia a compresión	69
Tabla 5.13 Usos del mortero según los resultados de resistencia a compresión	69
Tabla 5.14 Resultados ensayo de permeabilidad	71

Lista de Figuras

Figura 1.1 Distribución y usos del caucho natural	12
Figura 2.1 Cementos Melón	16
Figura 2.2 Acopio de áridos.	17
Figura 2.3 Agua.	17
Figura 2.4 Parte del neumático	22
Figura 2.5 Empresa Polambiente.....	23
Figura 3.1 Molde para probeta Permeabilidad.....	32
Figura 3.2 Molde para probeta Resistencia Mecánica.....	32
Figura 3.3 Molde para probeta Absorción de agua.....	32
Figura 3.4 Horno – Laboratorio de Hormigón	33
Figura 3.5 Tamices – Laboratorio de Hormigón.....	33
Figura 3.6 Prensa universal Cyber-plus evolution.	34
Figura 3.7 Dispositivos de compresión y flexión respectivamente	34
Figura 3.8 Ensayo permeabilidad al agua.....	38
Figura 4.1 Fotografía de granulometría arena	43
Figura 4.2 Gráfico Granulometría Arena corregida.....	44
Figura 4.3 Fotografía de granulometría caucho.....	48
Figura 4.4 Gráfico Caucho tamaño mezcla.....	48
Figura 5.1 Orden de la obtención de resultados	57
Figura 5.3 Extendido ensayo mesa de sacudida	58
Figura 5.2 Muestra de consistencia	58
Figura 5.4 Gráfico ensayo consistencia	59
Figura 5.5 Gráfico de resultados de absorción de agua a las 24 horas.	60
Figura 5.6 Gráfico de resultados de absorción de agua a los 14 días.....	61
Figura 5.7 Gráfico densidad aparente.....	62
Figura 5.8 Gráfico lineal de la densidad aparente	63
Figura 5.9 Elaboración probetas RILEM	64
Figura 5.11 Probeta RILEM sometida a ensayo de compresión	64
Figura 5.10 Probeta RILEM sometida a ensayo de flexión.....	64
Figura 5.12 Gráfico resultados resistencia a la flexión.	65
Figura 5.13 Gráfico resultados resistencia a la flexión.	66
Figura 5.14 Gráfico resultados resistencia a la compresión.	67
Figura 5.15 Gráfico resultados resistencia a la compresión.	68
Figura 5.16 Probeta para permeabilidad con anillo de goma	70
Figura 5.18 Rompimiento de probetas en prensa universal	70
Figura 5.17 Probetas en equipos para ensayar permeabilidad al agua	70
Figura 5.19 Gráfico resultados ensayo de permeabilidad al agua.....	71

Resumen

Debido a la gran cantidad de residuos generados en Chile y el mundo, especialmente de neumáticos fuera de uso, de los cuales existe un gran porcentaje que es desechado, una forma para minimizar la contaminación ambiental y buscando una opción de reutilización, es que se plantea la incorporación de estos en reemplazo de arena, en la confección de mortero de cemento.

Se plantea estudiar el comportamiento de las mezclas con caucho reciclado respecto a propiedades físicas tales como: consistencia, absorción de agua, permeabilidad y densidad aparente. Por otra parte evaluar las propiedades mecánicas a flexión y compresión. Establecer si la incorporación de caucho aumenta las propiedades con respecto a un mortero patrón, y una vez analizados los resultados proponer una posible aplicación.

Para llevar a cabo el desarrollo de esta investigación se realizó un diseño experimental, para esto se utilizaron las Normas Chilenas respectivas para cada ensayo y también para la selección de los materiales y las respectivas caracterizaciones.

Para concluir, la mayor parte de las propiedades físicas estudiadas presentan buenos resultados, por ejemplo la consistencia se mantiene en el límite plástico en todas las mezclas, por otra parte la densidad baja a medida que aumenta el caucho, a su vez la absorción de agua aumenta al igual que la permeabilidad, siendo esta la propiedad con resultados más desfavorables. Por otra parte las propiedades de resistencia mecánica tanto a compresión como flexión presentan mejores resultados de los esperados, haciendo viable la utilización de mortero con caucho, obteniéndose posibles usos para tres porcentajes de sustitución de arena por caucho.

Palabras claves: Mortero de cemento, Caucho reciclado, Consistencia, Absorción, Densidad, Permeabilidad, Resistencia mecánica a flexión y compresión.

Abstract

On account of the large quantities of residues produced in Chile and the world, especially considering end-of-life tires, of which a considerable percentage is simply disposed, a way of minimizing the polluting effects and looking for a reutilization option, is that we present the idea of incorporating them in exchange of the sand when manufacturing cement mortar.

The study proposed in the present work considers the behaviour and reactions of the mixes with rubber in relation to the physical properties such as consistency, water absorption, permeability, and apparent density. The study also involves the evaluation of the mechanical properties of bending and compression; and it attempts to establish if the incorporation of rubber increases the properties when compared to a mortar. Once the results were analyzed, it proposes possible usages.

In order to carry out the investigation, an experimental design was developed. For this purpose the respective Chilean regulations were used for each test trial, as well as for the selection of the materials and the particular characterizations.

To conclude, the majority of the physical properties studied show good results, for instance the consistency remains in the plasticity limit; the density decreases as the amount of rubber increases; water absorption and permeability increase as well, this being the property with least favorable result. On the other hand, the mechanical resistance properties, both in compression and bending, had better results than anticipated. This makes the usage of rubber in the mortar a viable option, obtaining possible uses for three percentages of rubber-sand exchange.

Keywords: Cement mortar, Recycled rubber, Consistency, Water absorption, Permeability, Density, Mechanical properties of bending and compression.

Capítulo 1: Antecedentes Generales

1.1 Introducción

Con el transcurso del tiempo se ha buscado tener un mayor bienestar y comodidad, de este modo ha ido cobrando mucha importancia el transporte. Por otra parte, implementaciones de transporte público defectuosas o largas horas de espera, producen incomodidad y malestar, contribuyendo a que el mercado automotriz crezca cada año, de forma exponencial y a su vez también aumenta la cantidad de neumáticos fuera de uso. En Chile se generan 3 millones de neumáticos en desuso cada año aproximadamente; siendo la región Metropolitana la que aporta casi el 40%. Del total de neumáticos, 2.000 toneladas son destinadas a la *coincineración* en hornos cementeros, 1500 toneladas como rellenos sanitarios y usos agrícolas. Sin embargo, aunque una parte es reutilizada cerca del 90% tiene un destino desconocido. (Consejo Nacional de producción limpia, CPL, 2009)

No obstante, esto no solo ocurre en Chile, es algo que inquieta a nivel mundial. Desde hace algún tiempo, se han comenzado investigaciones para encontrar alguna aplicación para emplear los neumáticos como tales, o bien, mediante reciclado, y de este modo encontrar alguna reutilización. Actualmente, en algunos países europeos han nacido organismos que tienen por misión encontrar la forma de reutilizar estos desechos en forma exclusiva, entre los que se puede mencionar las firmas SIGNUS, de España, o ETRA, de Bélgica. En nuestro Continente también se ha empezado a realizar estudios al respecto, de los cuales el país no se excluye y tampoco la Universidad de Valparaíso, en la que ya se han realizado algunas investigaciones, empleando gránulos de caucho reciclado a partir de neumáticos fuera de uso, incorporándolos a mezclas de hormigón y asfálticas.

Las principales empresas dedicadas a la venta de neumáticos se suscribieron al Acuerdo de Producción Limpia (APL) a través de la Cámara de la Industria del Neumático de Chile, CINC. Debido a la gran cantidad de NFU, es que se ha vuelto importante la inversión que se ha hecho a nivel país, gracias a estos esfuerzos, Chile se posiciona como líder en Latinoamérica en la recuperación de neumáticos, contando en Lampa con una planta exclusiva para el reciclaje de este, llamada Polambiente, donde se produce gránulo de caucho, el cual es usado para pavimentar caminos, como aislante o para canchas deportivas; permitiendo que el estado ahorre aproximadamente US\$ 2,47 millones. (CPL, 2009)

Ahora el país cuenta con una nueva ley para la gestión de residuos y responsabilidad extendida del productor, donde se considera que el que contamina paga. Se adopta una jerarquía en el manejo de residuos, el cual debe ser preventivo y participativo, además existirá responsabilidad de “la cuna a la tumba”, esto señala que el que genere residuos es responsable de manejarlos hasta que cumpla su vida útil, desde su confección hasta ser eliminados. Conjuntamente se busca promover la creación de microempresas recolectoras (Acuerdo N°9/2013)

Como se ha señalado es importante buscar nuevas formas de reincorporar materiales reciclados, una buena instancia es el área de la construcción la cual abarca un considerable porcentaje del mercado nacional, es por esto que se incentiva a la creación o al desarrollo de productos amigables con el medio ambiente.

1.2 Planteamiento del problema

El mortero es una mezcla homogénea generalmente de un material cementante, árido fino o arena y agua, variando la proporción según su uso, también se pueden agregar aditivos si se busca mejorar u obtener otras propiedades. Pueden ser empleados para pegar, rellenar y además como revestimiento. Lo que se busca de esta mezcla es que sea trabajable, esto quiere decir que al momento de ser empleada no se encuentre en estado seco ni fluido, más bien en estado plástico, siendo más fácil su manipulación. Dependiendo esto de la proporción agua/cemento que se emplee.

Pero también se pueden presentar problemas posteriores, al igual que ocurre en el hormigón, el mortero se puede fisurar al existir diferencias muy altas en la dilatación térmica y a su vez si se presentan grandes movimientos y el material es incapaz de absorberlo, rompiéndose la estructura más débil. Lo que se propone es incorporar un material reciclado, de esta forma ayudar a contribuir con el medio ambiente y saber como influye sobre algunas propiedades de esta mezcla, ya que el mortero no solo debe tener buena adherencia, mortero de pega, también puede ser usado como elemento estructural, por lo cual debe cumplir con las propiedades mecánicas de los morteros.

Se propone la adición de caucho ya que este material tiene muchas propiedades entre las que se destacan su resistencia a la congelación, propiedades eléctricas, conductividad térmica y acústicas (Naunton). Además como se ha señalado es un material que tiene un bajo porcentaje de reutilización, el porcentaje de caucho utilizado para la fabricación de llantas alcanza el 67%, los cuales posteriormente se convierten en neumáticos fuera de uso (NFU).

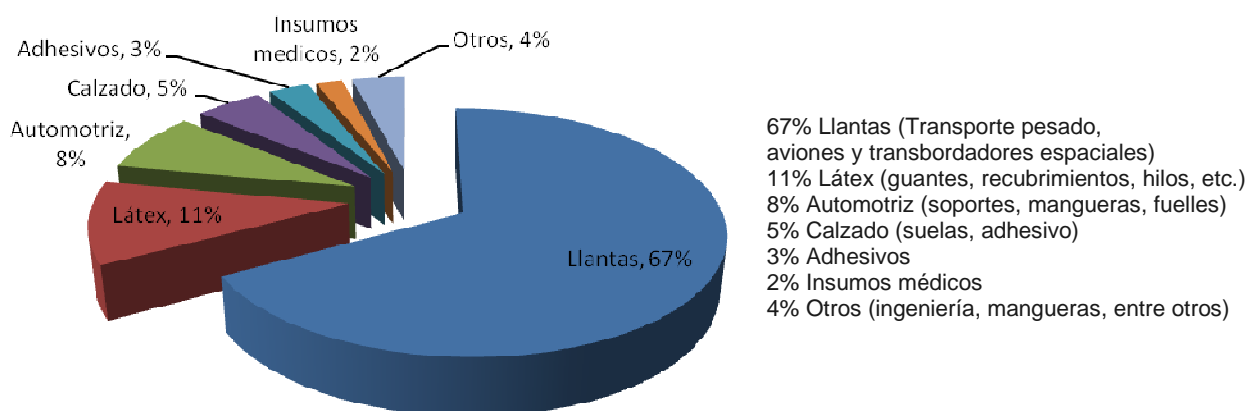


Figura 1.1 Distribución y usos del caucho natural
 Fuente: Cadena productiva del caucho, Colombia

Como se mencionó, existen antecedentes en la carrera con respecto a la reincorporación del caucho, planteando realizar hormigón con caucho para minimizar la retracción hidráulica, entregando buenos resultados. En la tesis se utilizan tres tamaños comerciales de caucho, para la elaboración de probetas con distintos porcentajes.

También es posible encontrar una investigación que estudia las propiedades térmicas, acústicas y mecánicas de placas de mortero caucho-cemento. En el cual se concluyó que la placa presentó buenas prestaciones térmicas, no teniendo los mismos resultados acústicamente ya que en vez de atenuar el ruido aéreo se produce un efecto tambor, pero al realizar el ensayo de ruido al impacto se obtienen buenos resultados.

A partir de estos antecedentes se logra visualizar que es factible incorporar el caucho en la construcción, en esta investigación se propone el reemplazo de arena por caucho en la confección de mortero de cemento. El propósito que se persigue es llegar a conocer de qué manera podría influir la adición de caucho sobre algunas propiedades relevantes del mortero, tales como su consistencia, absorción de agua, permeabilidad, resistencia mecánica y densidad aparente seco. Se estima que, conociendo las propiedades por estudiar, se podría señalar los empleos que se podría dar a este mortero.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Determinar la factibilidad técnica de emplear caucho reciclado para reemplazar arena en la confección de mortero de cemento.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar la influencia de reemplazos variables de arena por caucho sobre las propiedades físicas del mortero de cemento.
- Determinar la influencia de incorporaciones de caucho sobre las propiedades mecánicas: flexión y compresión, del mortero de cemento.

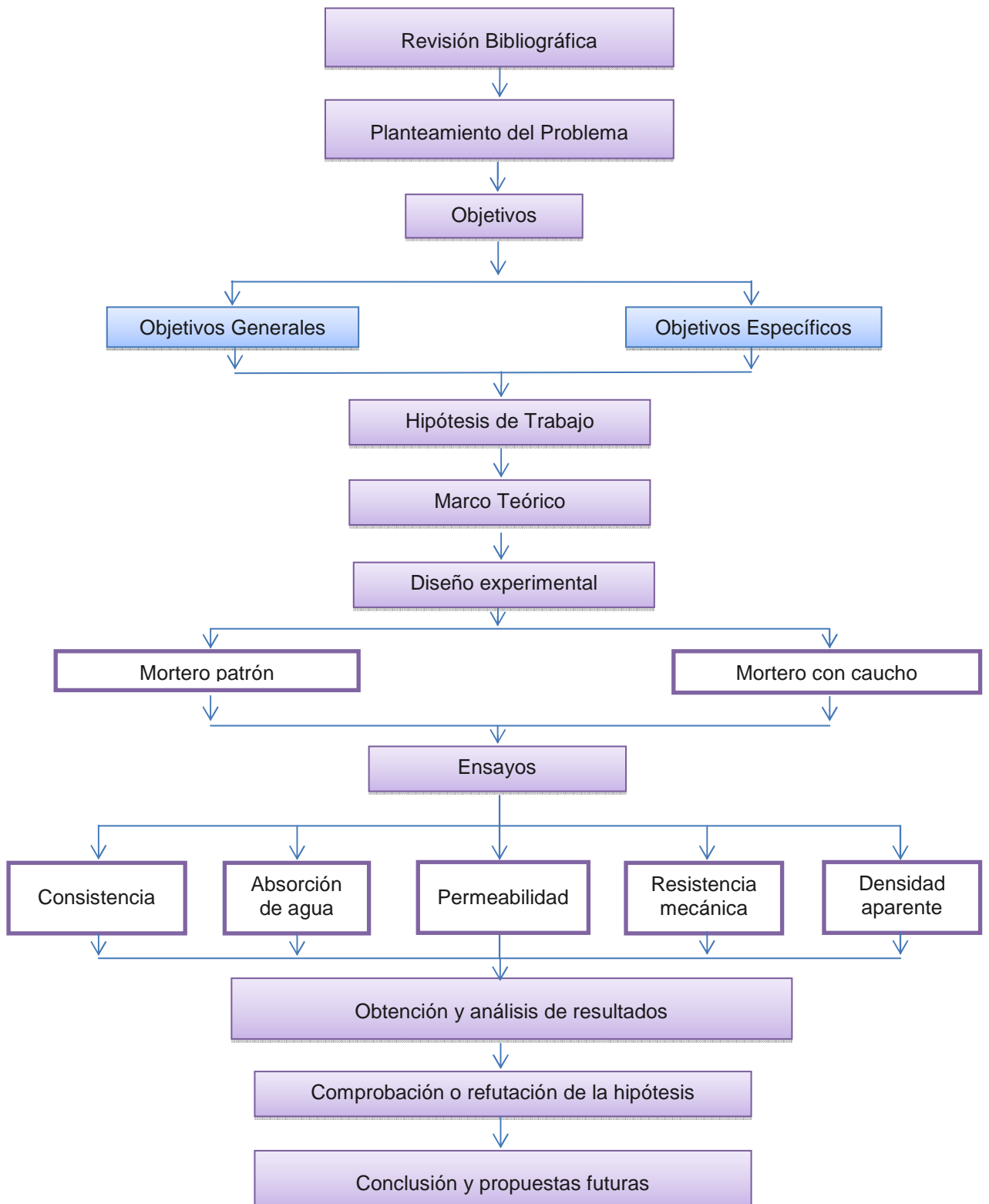
1.4 Hipótesis de la Investigación

La incorporación de caucho en los morteros de cemento mejora las propiedades de consistencia, absorción de agua, permeabilidad, resistencia mecánica y densidad aparente seco.

1.5 Alcances y Limitaciones

- Ensayos físicos serán de consistencia, absorción de agua, permeabilidad y densidad aparente.
- En las probetas solo se utiliza cemento portland puzolánico grado corriente.
- La evaluación de esta propuesta y todas las mediciones serán realizadas por equipos del laboratorio de la Universidad de Valparaíso.

1.6 Metodología de la Investigación



Capítulo 2: Marco Teórico

2.1 Generalidades

En este capítulo se presentan las bases teóricas para apoyar esta investigación, presentando desde una visión más amplia el mortero y sus propiedades tanto en estado fresco como endurecido, y de este modo esclarecer por qué fueron seleccionadas a ensayar las propiedades de absorción de agua, consistencia, densidad, permeabilidad y resistencia mecánica. Estas propiedades si bien no son todas las características que debe poseer un mortero, son relevantes para que tenga un buen funcionamiento.

Además se menciona el origen, ventajas y desventajas en la utilización de caucho proveniente de neumáticos fuera de uso. Ambos antecedentes importantes según los objetivos que han sido planteados a estudiar para realizar mortero con incorporación de caucho reciclado a partir de neumáticos fuera de uso, ya que es importante conocer cuáles son las características que posee y podría aportar a este nuevo material.

2.2 Presentación del mortero

El mortero es una mezcla conformada por uno o más materiales conglomerantes inorgánicos, arena y agua. El agua al ser incorporada hace que la mezcla reaccione y adquiera resistencia. La dosificación del mortero varía según la proporción de materiales y el futuro uso. Estos elementos son los principales, aunque también se pueden incorporar aditivos para que la mezcla adquiera otras propiedades.

Las características de estos materiales son:

Conglomerante: es un material capaz de unir uno o varios materiales, los cuales son producidos a partir de elementos inorgánicos y minerales, los más recurrentes son el cemento y la cal.

Cemento: es un aglomerante hidráulico, el cual necesita estar en contacto con agua para que se produzca la reacción química y adquiera las propiedades cementantes. Existen varios tipos comerciales y la elección entre uno y otro lo define principalmente su uso.



Figura 2.1 Cementos Melón

Fuente: www.melon.cl

Cal: pueden ser aéreas o hidráulicas, la diferencia entre una y otra es que la cal aérea hidratada (apagada) al ser amasada con agua y expuesta a la acción del aire, endurece lentamente y el producto final es poco resistente a la acción del agua. Por otro lado, la cal hidratada al ser amasada forma una pasta que fragua y endurece en un proceso más rápido originando productos bastante hidratados, con mayor resistencia mecánica y más estables, tanto en contacto con el aire como bajo el agua.

Áridos: son materiales granulares inorgánicos de tamaño variable. Compuesto principalmente por árido fino o arena, es importante que no sea de mala calidad, además debe cumplir con la granulometría. Si se presenta un módulo de finura muy bajo indica que la arena es fina y requerirá más agua para ser más trabajable.



Figura 2.2 Acopio de áridos.
Fuente: Elaboración propia

Y finalmente, el Agua, fundamental en el proceso de hidratación del cemento, la dosis a emplear debe ser precisa, ya que es el agente que ayuda a que se produzca la reacción química en el cemento. Y de esto depende la trabajabilidad de la mezcla. Entre otras propiedades físicas del mortero.



Figura 2.3 Agua.
Fuente: Elaboración propia

2.3 Posibles aplicaciones del mortero:

- Morteros de revestimientos continuos y discontinuos: provee una superficie lisa y uniforme. Su función es de embellecimiento y no estructural, los requisitos que debe cumplir depende del tipo de superficie que se desea cubrir.
- Morteros de junta para albañilería: mantiene unidos los elementos en la posición adecuada, además debe absorber esfuerzos de tensión y compresión.

- Morteros industriales: se refiere a los morteros comerciales, premezclados en seco, los cuales no tienen una normativa exclusiva, sin embargo, el fabricante debe garantizar el cumplimiento de los requisitos especificados.
- Morteros de sobrelosa: mortero diseñado para ser utilizado como nivelador de losas de hormigón, eliminando las imperfecciones e irregularidades.

Según su uso, debe cumplir con requisitos, por una parte respecto a los materiales y por otra las propiedades.

El mortero en un mismo elemento puede ser empleado en distintos usos como por ejemplo en una albañilería, el mortero puede ser usado para junta, unión de los ladrillos, y posteriormente como revestimiento del paramento, cambiando su dosificación o incorporando algún material adicional.

2.4 Propiedades del mortero con agregado de neumático fuera de uso

El mortero presenta distintas propiedades dependiendo del estado físico en el cual se encuentra, el cual puede ser en estado fresco o estado endurecido.

A continuación se describen algunas propiedades de los morteros según su estado.

2.4.1 Características en estado fresco

Es el proceso inicial de la mezcla donde se produce la hidratación del cemento. En esta etapa se presentan características como la fluidez y otras relacionadas con la cohesión en la masa, consistencia, las cuales conceden a la mezcla la trabajabilidad que tendrá.

2.4.1.1 Consistencia

La consistencia, entrega el grado de fluidez al mortero fresco, definiendo de este modo su manejabilidad o trabajabilidad. En mezclas de este tipo los resultados obtenidos son más fluidos al compararlo con mezclas tradicionales, ya que el caucho es un material menos poroso que los áridos. Por otro lado, el caucho ayuda a la incorporación de aire a la mezcla cuando su superficie es rugosa, ya que las burbujas de aire se adhieren a él. (Pino, 2012)

2.4.2 Características en estado endurecido

Las propiedades del mortero evolucionan con el pasar del tiempo, estas dependen de las características y proporciones de los materiales y además de las condiciones ambientales a las que se verá expuesta dicha mezcla.

2.4.2.1 Resistencia mecánica a flexión y compresión.

La resistencia del mortero influye en su capacidad para soportar y transmitir las cargas. Esta se basa en la resistencia a flexión y compresión, las cuales son fundamentales cuando se utiliza como elemento estructural.

En las mezclas con caucho varios autores coinciden en que la resistencia a la compresión disminuye a medida que aumenta la cantidad de caucho. Sin embargo, se puede limitar el porcentaje de caucho para que esta propiedad no sufra una variación significativa y a su vez también se propone que el uso del mortero no sea estructural. (Benítez et al)

A su vez la resistencia a la tracción no sufre alteraciones tan significativas en muestras donde la proporción de caucho es menor. Al realizar los ensayos en las probetas se generan grietas, sin embargo no tienen la misma rapidez ni desenlace que en las mezclas tradicionales, ya que se genera una ruptura más lenta, evitando el fallo de la probeta. Esto indica que el material no es frágil si no que se vuelve más dúctil y su durabilidad aumenta. (Albano et al, 2013) Ya que se obtiene una capacidad mayor de deformación que un mortero arena-cemento. (Bustamante et al, 2008)

Por otra parte el tamaño del grano de caucho contribuye a la pérdida de esta propiedad, a medida que aumenta disminuye la resistencia del mortero. (Barra et al, 2009) Lo mismo que ocurre al aumentar la proporción de caucho a sustituir. (Bustamante et al, 2008)

Una de las razones por la cual baja la resistencia, es el aumento del contenido de aire en la mezcla. La superficie lisa de la goma puede ser una de las responsables en la unión débil de las partículas con la pasta de cemento. (Albano et al, 2013)

Existen estudios más recientes en los que se han logrado estabilizar los resultados obtenidos en las mezclas con caucho en ensayos de compresión y tracción, con valores similares a los obtenidos en mezclas tradicionales cuando el material reciclado no excede el 20% del volumen total del agregado. (Botero et al, 2005 y Barra et al, 2009)

Ya que, si la sustitución se realiza en proporciones mayores se pueden obtener resultados como por ejemplo: “una sustitución de 30% de arena por agregados de caucho conduce a una disminución de resistencia a la compresión de 80% y una disminución a la tracción de 70% en comparación con el mortero de control”. (Barra et al, 2009)

2.4.2.2 Absorción de agua

El coeficiente de absorción de agua permite asegurar que el material proporciona protección frente a efectos como la lluvia o inundaciones, y puede ser utilizado como una medida de caracterización de la acción capilar en los materiales de construcción.

La baja adherencia de la mezcla con NFU proporciona una mayor absorción y porosidad, aumentando con el tamaño del caucho. Lo mismo ocurre con la absorción capilar. (Barra et al, 2009) También el contenido de aire aumenta proporcionalmente con el agregado de goma, al no absorber el agua de la mezcla como ocurre con el agregado natural, la mezcla suele tener más burbujas de aire en su interior. (Botero et al, 2005)

2.4.2.3 Densidad aparente

La densidad del mortero depende de los materiales que se utilicen para su fabricación. Afectando la caracterización de los elementos y la dosificación empleada.

En mezclas de pasta de cemento con caucho la cantidad de huecos de la mezcla aumentan, además el caucho tiene una densidad más baja que los áridos, por consiguiente se genera una baja densidad del producto final. (Barra et al, 2009) Al aumentar la cantidad de goma triturada se reduce el peso unitario de la mezcla ya que la densidad es menor, "aunque no alcanza el peso normalizado 1,3 gr/cm³ para tipificarlo como mortero ligero". (Bustamante et al, 2008)

2.4.2.4 Permeabilidad al agua

Es la propiedad del mortero que permite el paso de agua o de otro fluido, por su interior. Si un mortero es permeable al agua, se transmite hacia su interior originando humedades por filtración.

La incorporación de gránulos de caucho a mezclas con pasta de cemento origina un aumento en la permeabilidad, determinada por el tamaño y porcentaje de NFU. Al comparar la sustitución realizada por un solo tamaño o una mezcla de tamaños de caucho, disminuye la permeabilidad cuando se trata de una mezcla de tamaños. (Muñoz, 2013)

2.5 Caucho

2.5.1 Origen

El caucho es un polímero, de origen natural o sintético. El caucho sintético, obtenido a través de procesos químicos, se utiliza como sustituto del caucho natural debido a que es más estable cuando se aplican elevadas temperaturas.

Por otra parte el caucho natural se obtiene de la exudación lechosa del árbol de goma, la sustancia que se extrae de él recibe el nombre de látex; el caucho natural tiene entre sus propiedades la elasticidad. Este puede mejorar sus características mediante la vulcanización donde el caucho se mezcla con azufre y se somete a altas temperaturas. Consiguiendo una gran elasticidad, mayor resistencia a las fisuras y grietas, elevación de su resistencia a los cambios de temperatura, impermeabilización a los gases y al agua.

El descubrimiento de la vulcanización se asocia a Charles Goodyear. A partir del hallazgo de este proceso se comenzó a fabricar una amplia gama de productos como aislantes para cables eléctricos, mangueras, cintas transportadoras y en gran volumen, neumáticos para automóviles, camiones, aviones, etc.

El 67% de caucho elaborado, se utiliza para crear llantas o neumáticos. Para fabricar uno de estos se necesitan muchos recursos y energía (alrededor de medio barril de petróleo crudo para un neumático de camión). Debido a su masiva producción también se originan problemas medio ambientales ya que estos van a parar muchas veces a vertederos. Para evitar esto se está fomentando la reutilización de neumáticos fuera de uso.

2.5.2 Neumáticos usados

La estructura de los neumáticos no está constituida solo por caucho, también está formado por una malla de acero o textil y caucho macizo, que constituye la banda de rodadura. La cual con el uso se va desgastando, ya que es la banda la que está en contacto con la superficie del camino, volviéndose prácticamente lisos al no tener la profundidad mínima de 3 mm la huella. Generalmente tienen una vida útil de 50.000 Km, sin embargo esta depende mucho de la mantención que se le realice al vehículo. (Martínez, 2005)

Una vez cumplida su vida útil pasan a ser neumáticos fuera de uso. Estos pueden volver a ser reutilizados, una de las formas de lograrlo es que pasen por un proceso de trituración el cual los transforma en polvo o partículas finas de caucho. Pero, antes se deben separar sus componentes; el caucho, el acero y las fibras textiles.

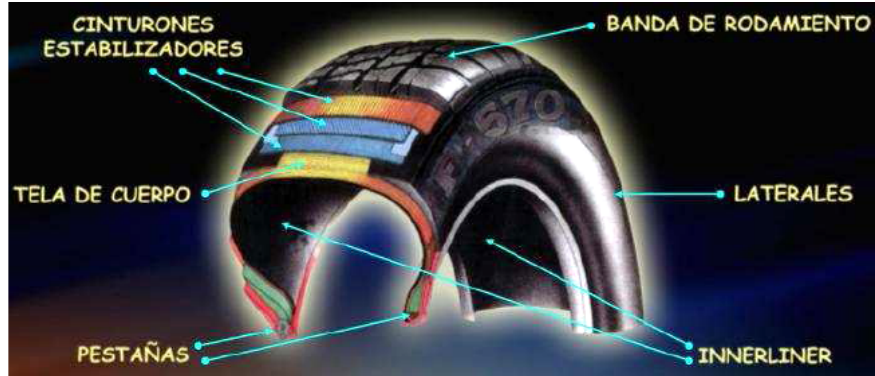


Figura 2.4 Parte del neumático
Fuente: Revista del caucho, 2007

2.5.3 Ventajas de la utilización de caucho

- Mejor comportamiento frente a la formación de fisuras y grietas.
- Mejor comportamiento a las deformaciones plásticas
- Mayor resistencia a la fatiga. (Téjela, 2013)

2.5.4 Desventajas de la utilización de caucho

- Aumento excesivo de la viscosidad, provocando problemas posteriores en la densidad y propiedades mecánicas.
- Aumento en la cantidad de energía para la reutilización, dejando de ser una buena opción ecológica.

2.5.5 Reciclaje de Neumático.

En el año 2009, en Chile se creó la empresa Polambiente la cual se encarga principalmente del “reciclaje de Neumáticos fuera de uso (NFU)”



Figura 2.5 Empresa Polambiente
Fuente: Elaboración propia

Mediante una planta de trituración y granulación de NFU se producen gránulos, polvo y chips de caucho reciclado. Mediante la trituración mecánica se disminuye el tamaño del neumático hasta generar caucho granular en distintos tamaños. Obteniendo de este modo productos de alta calidad y sin impurezas.

Etapas de línea de producción de caucho reciclado

1. Almacenamiento: acopio de neumáticos usados.
2. Destalonamiento: remoción de los alambres de acero.
3. Trituración: reducción del volumen de los neumáticos enteros a trozos más pequeños
4. Granulación primaria: segunda etapa luego de la trituración para convertir los trozos de neumáticos en granos.
5. Granulación secundaria: lugar donde se obtiene el grano más fino, que la fase anterior, además en este lugar se seleccionan los granos según su tamaño.
6. Desmetalizado: etapa donde se separa el hierro de los demás materiales, magnéticamente.
7. Aspiración de polvos: para diferenciar con respecto de la tela. (Reciclaje de llantas usadas)

2.6 Otras investigaciones que contemplan la utilización de caucho.

I) “Catálogo de residuos utilizables en construcción” (Centro de estudio y experimentación de obras públicas, España, 2012)

a) Obras viales.

Según la experiencia en España en usos de mezclas asfálticas con Caucho NFU, señala que tiene un “Mejor comportamiento frente a la formación de fisuras y grietas. Mejor comportamiento a las deformaciones plásticas. Mayor resistencia a la fatiga” (FER)

El 5 de octubre de 2001 se aprueba el Plan Nacional de Neumáticos Fuera de uso, el cual contempla que en las obras públicas que sea favorable tanto técnico y económicamente, se priorizará la utilización de materiales procedentes del reciclado de NFU. Lo que se utiliza para realizar esta mezcla es el polvo de caucho tamaño inferior a 1 mm, pudiendo ser de caucho natural o sintético, si existen otros elementos estos deben tener una proporción inferior.

Una mezcla bituminosa con adición de polvo de caucho, es apta para ser utilizada en cualquier capa de un pavimento (carretera, aeropuerto, estacionamiento, etc.)

Los resultados que se obtienen en esta mezcla son:

- Aumenta su viscosidad, esto logra que la mezcla se adhiera mejor a los áridos formando una película más gruesa en estos, reduciendo la exudación.
- Mejora su elasticidad y resistencia a los cambios de temperatura.
- Resistencia a la fisura, comportamiento a las deformaciones plásticas y la fatiga, mejora considerablemente comparado con las mezclas sin polvo de caucho.
- Mayor resistencia al envejecimiento.

Para concluir esta mezcla no solo mejora las prestaciones de la carretera, también contribuye en beneficios económicos, medioambientales y de seguridad vial.

Ventajas económicas:

- Prolongación de la vida de servicio.
- Disminución del costo de mantención.
- Posibles ahorros materiales por la disminución del espesor de capas.

Ventajas medioambientales:

- Reducción de nivel sonoro por rodadura.
- Reutilización de residuos.

Ventajas desde el punto de vista de la seguridad vial:

- Mejor adherencia de los vehículos en el asfalto.
- Prolongación del tiempo de contraste de las marcas viales.

b) Edificación

De estos estudios existen datos solo de laboratorio. Sin embargo, se ha demostrado que se aumenta la resiliencia, durabilidad y elasticidad del hormigón, pero a su vez su resistencia a compresión se puede reducir hasta en un 85% cuando se sustituye el árido grueso, si por otra parte el árido sustituido es fino la pérdida es de 65%.

También se reduce el módulo de elasticidad, lo cual conlleva a que aumente su flexibilidad. Se destaca su baja densidad, lo cual lo hace ideal para ser utilizado en elementos interiores en edificación. Y su rotura plástica, ayuda a que resista parte de la deformación bajo compresión. Se plantea como una opción para prevenir el fallo de estructuras debido a movimientos sísmicos, como un aislante que controle los movimientos que se transmiten desde el terreno a la estructura.

Resulta una buena opción para pavimentos, ya que se produce una mezcla porosa obteniendo pavimentos impermeables o porosos, destinados a tránsito tanto vehicular como peatonal. Ya que permitiría un escurrimiento de las aguas, disminuyendo la incidencia de inundaciones y también contribuyendo a que estas puedan ser recolectadas.

Por otra parte, mezclas de este tipo presentan resultados dúctiles, siendo ideales para contribuir a la absorción de impactos o choques.

II) “Factibilidad técnica de uso de hormigón caucho para minimizar la retracción en el hormigón” (Pino, 2012)

La retracción es la deformación del hormigón, esta puede ser en estado fresco o endurecido. Es apreciable ya que el hormigón presenta variaciones de volumen, estas no se limitan solo a cuando el hormigón está en estado fresco o endurecido, también se puede apreciar durante el fraguado en las primeras horas o meses después, debido a que se producen pérdidas de agua.

Cuando existen cambios en el volumen pueden desencadenar tensiones internas de tracción las cuales pueden causar fisuras por retracción, dependiendo de la magnitud de la retracción es la cantidad y magnitud de las fisuras.

Se pueden originar distintos tipos de retracción, plástica, química o hidráulica, sin embargo la adición de caucho a la mezcla de hormigón reduce la retracción hidráulica, este tiene relación con el proceso de secado y la pérdida de humedad debido a una diferencia entre el hormigón y el ambiente.

Esto se logra al reemplazar el árido fino por caucho, sin embargo la incorporación de caucho tamaño grueso, 4 a 2 mm, en un 15% reduce la retracción hidráulica hasta el 32%.

A su vez el estudio de esta mezcla presenta otras variables como un aumento en el asentamiento de cono, debido a la incorporación de aire que está relacionada con la textura del caucho. También se reduce la resistencia a la compresión y flexotracción, siendo mayor la pérdida en la compresión esto se debe a que el caucho tiene una baja adherencia con las pasta de cemento.

Se destaca que el tamaño del caucho y la cantidad influyen directamente en los resultados obtenidos, “Mediante el análisis estadístico se determinó con un 95% de confiabilidad que las variables independientes tamaño y cantidad de caucho son significativas en la minimización de retracción hidráulica”

III) “Propiedades térmicas, acústicas y mecánicas de placas de caucho cemento” (Bustamante et al, 2008)

Para este estudio se utilizó cemento común el cual fue mezclado con polvo de caucho triturado hasta superar el 30% del producto final. Se parte de la base de que el caucho tiene características elásticas, baja densidad, compatibilidad con el cemento y estabilidad química. Y a través de esto se propone que esta mezcla resultara.

Se menciona que según investigaciones sobre hormigones con caucho, este presenta mejoras en el comportamiento al fuego en hormigones de alta resistencia con fibras cortas de caucho reciclado.

También se realizan ensayos para reducción de ruido aéreo e impacto. En el primer ensayo a pesar de las distintas proporciones de caucho, en vez de disminuir los ruidos se acentúan, este ensayo se compara con una muestra patrón la cual está constituida solamente por mortero de cemento el cual presenta mejores resultados que la placa cemento-caucho, ya que esta produce un efecto tambor, por ende no aísla sino que aumenta el ruido. Por otra parte el ensayo de ruido al impacto, presenta resultados favorables.

Térmicamente mejora su capacidad aislante, ya que disminuye la conductividad térmica de la placa, aunque de igual forma los resultados dependen del porcentaje de caucho reemplazado.

Al igual que en otras investigaciones se concluye que las resistencias a compresión y flexión, disminuyen a medida que aumenta la proporción de polvo de caucho. Pero si ayuda a retener agua desencadenando una hidratación lenta del cemento.

También se logran probetas con una mayor capacidad de deformación comparada con los morteros tradicionales, al realizar los ensayos a compresión y flexión no son frágiles sino más bien dúctil, no separándose del todo la probeta al ser sometida a los esfuerzos.

IV) “Potencial de agregar caucho para modificar las propiedades del mortero de cemento: Mejora de la resistencia al agrietamiento por contracción” (Turatsinze et al, 2005)

Los materiales a base de cemento suelen tener baja resistencia a la tracción y deformación, siendo más propensos a ser deformados y fisurarse. Para mejorar las características del mortero se agrega caucho triturado y se evalúa la influencia que estos tienen sobre las propiedades mecánicas básicas del mortero. Lo que se realiza es sustituir arena por caucho en proporciones de 20% y 30% del volumen total, con un tamaño máximo de 4mm.

Uno de los principales problemas que presenta es la baja adherencia entre el caucho y el conglomerante, para atenuar esto se incorporó una solución acuosa de Hidróxido de sodio (NaOH), sin embargo, los beneficios en la mezcla con caucho no son realmente relevantes.

Los resultados son favorables para limitar la propensión a formar grietas. Aunque al igual que en otros ensayos las resistencias mecánicas son disminuidas y existe un aumento en la longitud de contracción libre, sin embargo, mejora su capacidad de deformación.

2.7 Resumen

Según los antecedentes recopilados se toma como referencia las proporciones de caucho a remplazar, "Debido a la gran pérdida de resistencia que se produce, desde el punto de vista práctico no convendría sustituir más de un 20% del total de los áridos por neumáticos tronceados" (Ficha técnica). Por esto los porcentajes propuestos para ser empleados en esta investigación van de 5 en 5 partiendo de un 5% hasta llegar a 20%.

Para atenuar los efectos perjudiciales obtenidos en otras investigaciones de acuerdo a la resistencia mecánica se opta por sustituir los porcentajes de arena por caucho, realizando una granulometría al último para que el remplazo no afecte de forma directa las propiedades a estudiar.

Algunos autores según sus opiniones señalan que debido a su baja resistencia se puede aplicar para propósitos arquitectónicos como fachadas o elementos decorativos, ya que se obtiene una mezcla más liviana. (Botero et al, 2005)

Uno de los propósitos de esta investigación es determinar un posible uso para el mortero con caucho según los resultados de las propiedades propuestas a ensayar.

Capítulo 3: Diseño Experimental

3.1 Generalidades

El presente capítulo contiene los antecedentes que conllevan al diseño experimental de la investigación propuesta.

El cual presenta variables tanto dependientes como independientes, las primeras corresponden a las características del mortero que fueron propuestas a estudiar las cuales son: consistencia, absorción de agua, permeabilidad, densidad aparente y resistencia mecánica. Por otra parte las variables independientes quedan definidas por el tamaño y cantidad de caucho.

De acuerdo a la metodología propuesta se determinan las etapas experimentales y sus respectivas actividades, señalando los equipos y procedimientos necesarios para llevar a cabo la experiencia y de este modo la obtención de resultados.

3.2 Planteamiento y definición de las variables.

3.2.1 Variables independientes

a) Cantidad de caucho:

Según otros investigadores se sugiere no sustituir más allá de un 20% del árido por caucho, por lo tanto el porcentaje de caucho a sustituir del volumen de árido fino en la mezcla corresponde a los siguientes porcentajes 5, 10, 15 y 20%.

b) Tamaño de caucho:

Actualmente en el mercado nacional es posible encontrar tres rangos de granulometría, de los cuales se utilizaran dos.

- Granulado: 0,1 a 2,5 mm
- Polvo: 0,1 a 0,6 mm

Sin embargo, se considera un solo tamaño que llamaremos "TM" (tamaño mezcla), el cual consiste en realizar una mezcla con los tamaños señaladas y obtener una única granulometría.

3.2.2 Variables dependientes.

Las variables de respuesta consideradas en la presente investigación corresponden a:

Tabla 3.1 Variables dependientes

Variables Dependientes	Norma
Absorción de agua	Método empírico
Consistencia	NCh 2257/1
Densidad aparente	Aplicación de formulas
Permeabilidad	NCh 2262
Resistencia Mecánica a flexión y compresión.	NCh 158

Fuente: Elaboración propia

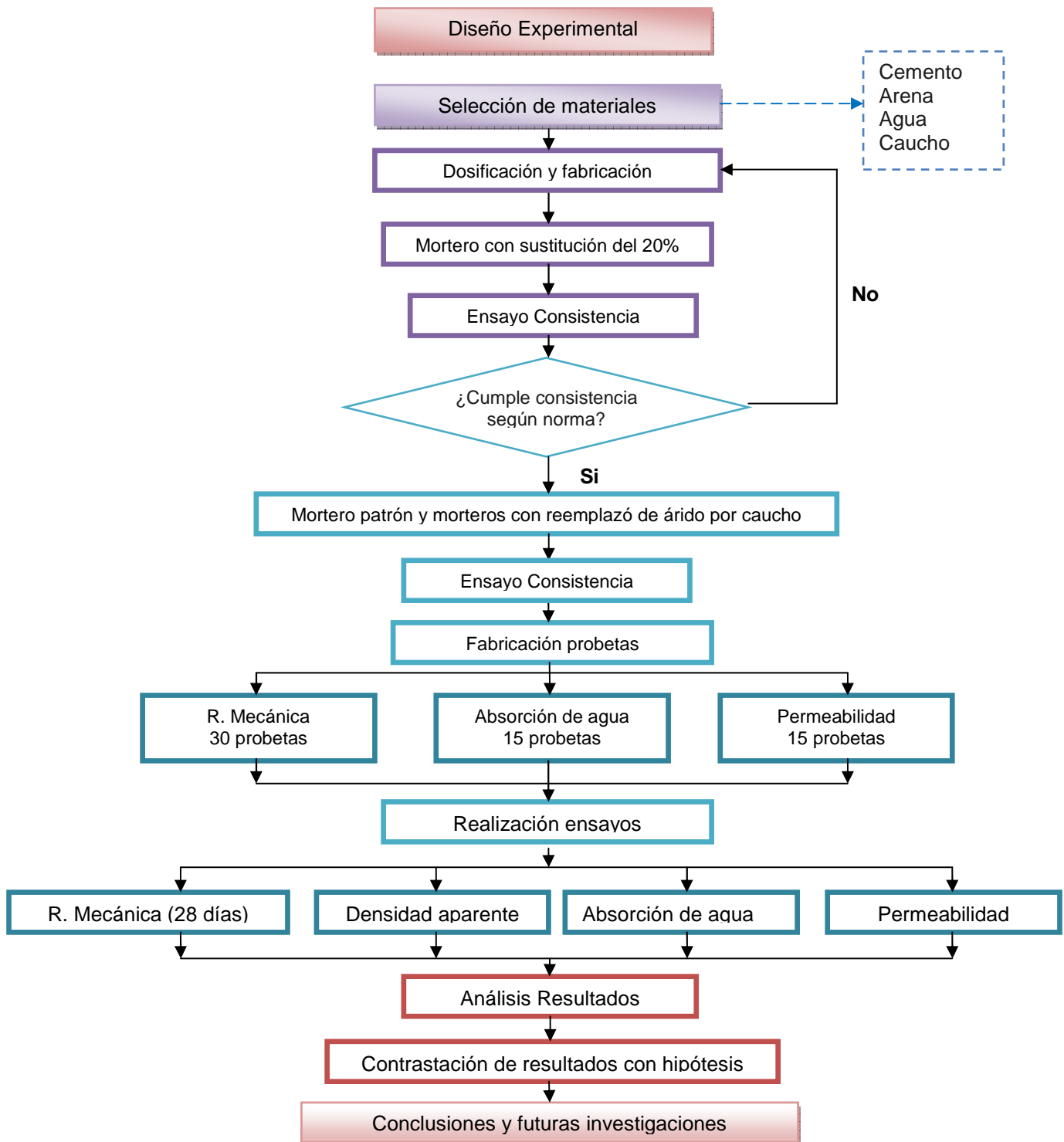
3.2.3 Variables de control

- a) Tipo de cemento: Se utiliza cemento portland puzolánico grado corriente.
- b) Tamaño máximo del árido: Se utiliza arena con un tamaño máximo nominal de 5 mm.

3.3 Etapas de la actividad experimental

3.3.1 Metodología

La metodología a seguir se ve reflejada en el siguiente esquema.



3.3.2 Explicación de experiencia

Esta etapa comienza con el diseño experimental, donde se recopilarán todos los antecedentes para planificar y el desarrollo de los ensayos propuestos. Además se deben considerar los materiales y medios, para comenzar con la realización de la investigación en laboratorio.

Selección de materiales:

- 1) Cemento
- 2) Arena
- 3) Agua
- 4) Caucho reciclado

3.3.2.1 Procedimiento:

- I) Una vez recopilados los materiales, se procedió a realizar la granulometría del árido fino, para luego obtener la densidad aparente y real del material.
- II) La dosificación se realizó por el método para proporciones volumétricas.
- III) Por otra parte se hizo la granulometría para el caucho con las dimensiones mencionados para obtener una sola mezcla con todos los tamaños.
- IV) Se inicia la experiencia con la creación de un mortero patrón, el cual no contiene caucho.
- V) Posteriormente se procede con la realización del mortero con caucho en sus proporciones: 5, 10, 15 y 20%.
- VI) El primer ensayo que se contempla realizar a las mezclas es el de consistencia. Una vez verificada la consistencia de las mezclas se procede con la fabricación de las probetas para los otros ensayos.
- VII) La dimensión de las probetas para los ensayos queda definida en la tabla 3.2 ejecutándose tres muestras por cada proporción, para cada característica propuesta.

Tabla 3.2 Dimensión probetas según variables

Variables	Dimensión probetas
Absorción de agua	Cilíndrica: h=10 cm, d= 7,5 cm
Consistencia	N. A.
Densidad	Misma probeta de Resistencia mecánica
Permeabilidad	15 x 15 x 12 cm
Resistencia Mecánica flexión y compresión	4 x 4 x 16 cm

Fuente: Elaboración propia

Continuando con la investigación en laboratorio, para cada propiedad existen tiempos y procedimientos que se deben cumplir, los cuales serán detallados en este capítulo.

3.4 Equipamiento para determinar las variables.

- 1) Moldes de probetas cúbicas, prismáticas y cilíndricas.

Los moldes cúbicos y prismáticos serán metálicos, cumpliendo las dimensiones de la tabla 3.2, los moldes cilíndricos serán de tubos de PVC.



Figura 3.1 Molde para probeta Permeabilidad.
Fuente: Elaboración propia



Figura 3.2 Molde para probeta Resistencia Mecánica.
Fuente: Elaboración propia



Figura 3.3 Molde para probeta Absorción de agua.
Fuente: Elaboración Propia

2) Horno de laboratorio

Se considera la utilización de horno como elemento auxiliar para la realización del ensayo de absorción de agua, además de la caracterización de la arena.



Figura 3.4 Horno – Laboratorio de Hormigón
Fuente: Elaboración Propia

3) Tamices

Serán utilizados para realizar las granulometrías de los áridos finos y caucho.



Figura 3.5 Tamices – Laboratorio de Hormigón
Fuente: Elaboración Propia

4) Prensa universal

Equipo que permite realizar ensayos de compresión y tracción, sin embargo por las dimensiones de las probetas se utilizan dispositivos como los de la figura 3.7



Figura 3.6 Prensa universal Cyber-plus evolution.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 3.7 Dispositivos de compresión y flexión respectivamente
Fuente: Tecnotest, Cementos y Morteros.

3.5 Ensayos

3.5.1 Ensayo de consistencia

Para determinar la consistencia de un mortero, se debe utilizar la NCh 2257/1 Of96, la cual se lleva a cabo mediante el método del extendido en la mesa de sacudida.

El ensayo consiste en medir el grado de consistencia del mortero que depende fundamentalmente de la fase líquida, además del contenido y característica de los componentes sólidos que la componen.

Tabla 3.3 Clasificación de mortero por Consistencia.

Tipos	Extendido, mm
1) Seca	<150
2) Plástica	150-240
3) Fluida	>240

Fuente: NCh 2256/1 Oficial 1996

3.5.1.1 Procedimiento

- I) Colocar el molde troncocónico centrado sobre la plataforma. Llenar el molde en dos capas y compactar cada una de ellas con 20 golpes de pisón repartidos uniformemente.
- II) Enrasar con regla, evitando compactar el mortero.
- III) Levantar cuidadosamente el molde, y de inmediato, dejar caer la plataforma por 25 veces en 15 segundos, en forma regular.
- IV) Medir y registrar cuatro diámetros equidistantes, con una exactitud de 1 mm, con el pie de metro u otro instrumento de medición.

3.5.2 Ensayo de absorción de agua

El ensayo consiste en determinar la absorción de agua retenida en los poros y capilares del mortero. Esta característica está relacionada con la resistencia que tiene el mortero a la acción de agentes atmosféricos.

Este ensayo se realizó en dos intervalos de tiempo el primero dentro de las primeras 24 horas y el segundo a los 14 días, efectuando los mismos procedimientos.

3.5.2.1 Procedimientos

Se confeccionarán tres probetas cilíndricas de altura 10 cm y diámetro de 7,5 cm.

- I) Confeccionar y desmoldar las probetas.
- II) Las probetas deben ser sumergidas totalmente en agua, durante 24 horas; cumplido el plazo, la probeta debe ser retirada del agua y secadas superficialmente con un paño.
- III) A continuación, se determina su peso saturado superficie seca aproximando este a un gramo.
- IV) Posteriormente, la probeta es colocada en un horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, para ser secado a peso constante. Lo que se consigue a las 24 horas aproximadamente.
- V) Una vez seca la probeta, se procede a determinar su peso seco, el cual nuevamente se debe aproximar a un gramo.
- VI) La diferencia entre los peso saturado y seco al horno se toma como la absorción, expresándose normalmente en porcentaje referido al peso seco:

$$\text{Absorción} = \frac{100 * (P_{sss} - P_s)}{P_s} \%$$

P_{sss} : Peso saturado superficie seca, en gramos.

P_s : Peso seco al horno, en gramos.

3.5.3 Ensayo de permeabilidad al agua

Este ensayo esta normado por la NCh 2262 Of97, para hormigones y morteros, el cual establece el procedimiento para determinar la impermeabilidad al agua según el método de la penetración de agua bajo presión. En el año 2009 fue modificada la presente norma por el comité técnico hormigón y mortero, sin embargo esta modificación aún no se encuentra oficializada.

3.5.3.1 Confección y conservación de las probetas

- I) Se confeccionarán tres probetas prismáticas de 15 x 15 x12 cm.
- II) Las cuales se llenarán en tres capas y se compactarán levantando el molde alternadamente por sus lados opuestos, a una altura aproximada de 5 cm y dejándola caer contra una base firme para consistencias plásticas y fluidas. Para consistencias secas, se llena en una sola capa y se compactará en la mesa vibradora.
- III) El desmolde de las probetas debe ser dentro de las 48 horas siguientes a su confección, siempre y cuando las condiciones de endurecimiento lo permitan.
- IV) Las probetas se deben conservar a una temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$, sumergidas en agua saturada con cal, hasta los 28 días de edad.

3.5.3.2 Preparación de las probetas enmoldadas.

- I) A los 10 días \pm 3 días de edad, las probetas moldeadas se raspan con escobilla de acero en la cara que va a estar sometida a la presión de agua.
- II) En la zona de dicha cara que no va a estar sometida a la presión de agua, se aplica inmediatamente un material de sellado, utilizando pasta de cemento, para prevenir la pérdida de agua.
- III) Al transcurrir tres horas, devolver las probetas al agua con cal.

3.5.3.3 Ensayos

- I) Cuando la probeta cumpla 28 días de edad, se colocan en el equipo, de modo que la presión de agua actúe sobre la cara prevista y las otras caras puedan ser observadas.
- II) Se coloca un anillo de sellado, de goma y otro material similar, en la unión entre la parte del equipo que aplica la presión de agua y la probeta, de modo que no se produzca perdidas de agua en dicha zona durante el ensayo. Figura 3.5

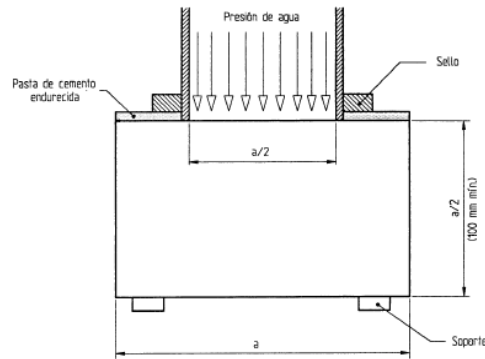


Figura 3.8 Ensayo permeabilidad al agua

Fuente: NCh 2262. Of97

- III) Se aplica una presión de agua de $0,5 \pm 0,05$ MPa, durante 72 ± 2 horas. Registrando el tiempo de inicio del ensayo y observando el desarrollo de este, periódicamente
- IV) Inmediatamente después de finalizar el ensayo, las probetas en las que no hubo afloramiento de agua se someten a rotura por hendimiento, colocando en su parte media las barras de carga, una arriba y otra abajo.
- V) Aplicar la carga preferentemente perpendicular al sentido en que se ejerció la presión de agua.
- VI) A continuación se establece la profundidad de la penetración de agua y la forma en que se distribuye, marcando la zona con un elemento de punta fina.

3.5.3.4 Medida de penetración

La penetración de agua, se expresa en milímetros. Se mide la máxima profundidad de penetración de agua en cada una de las probetas, con aproximación a 1 mm, posteriormente se saca un promedio de las medidas de las tres probetas.

3.5.4 Ensayo de resistencia mecánica a flexión y compresión.

El ensayo de resistencia mecánica está comprendido por dos ensayos a flexión y compresión. Los cuales están especificados en la Norma Chilena 158 oficial 1967, la cual define los ensayos de flexión y compresión de morteros de cemento.

3.5.4.1 Preparación

- I) Se utilizaron moldes que estan divididos en tres compartimientos prismáticos, que permitieron confeccionar tres probetas paralelamente.

Las dimensiones interiores de cada uno son:

Longitud = 160 mm
Ancho = 40 mm
Alto = 40 mm

- II) El molde se cubrió interiormente con una delgada capa de aceite. Las uniones exteriores debieron quedar selladas.
- III) En una cada uno de los compartimientos se introdujo una primera capa de alrededor de 320 gramos de mortero. Se niveló por medio de una espátula plana con dos movimientos de ida y vuelta.
- IV) Se colocará una segunda capa de la misma cantidad, repitiendo los pasos mencionados para enrasar y compactar.
- V) Se sacará el molde y se retirará el marco. Se enrasará el mortero con la arista de una regla metálica, posteriormente se emparejará la superficie alisándola con la misma regla.

3.5.4.2 Conservación

- I) Los moldes se cubrirán con una plancha de material no absorbente, para evitar la evaporación de agua.
- II) Las probetas se desmoldarán entre 20 y 24 horas después de haberlas moldeado. Si el mortero aun no adquiere resistencia, el desmolde puede posponerse 24 horas, pero se debe anotar en el informe.
- III) Las probetas desmoldadas se limpian y pesan.
- IV) Luego se sumergen, en agua detenida, saturada en cal, a $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, hasta el momento del ensayo. Las probetas se sacarán del agua menos de 15 minutos antes del ensayo.

3.5.4.3 Procedimiento a Flexión

- I) La probeta se apoyará, en una de las caras laterales del moldaje, sobre los rodillos de apoyo de la máquina de flexión.
- II) La carga se aplicará a través del rodillo superior con una velocidad de carga de 5 ± 1 Kg/s.

3.5.4.4 Procedimiento a Compresión

- I) Los trozos de las probetas rotas a flexión, se conservarán húmedos hasta el momento en que cada uno de ellos se someta al ensayo de compresión.
- II) Cada trozo obtenido del ensayo de flexión se ensayará a compresión en una sección de 40×40 mm, aplicándose la carga a las dos caras provenientes de las laterales del moldaje, colocándose entre las placas de la máquina de compresión
- III) La velocidad de carga será tal que la presión sobre la probeta aumente entre 10 y 20 kg/s. Hasta la mitad de la carga de ruptura la carga podrá aumentar a mayor velocidad.

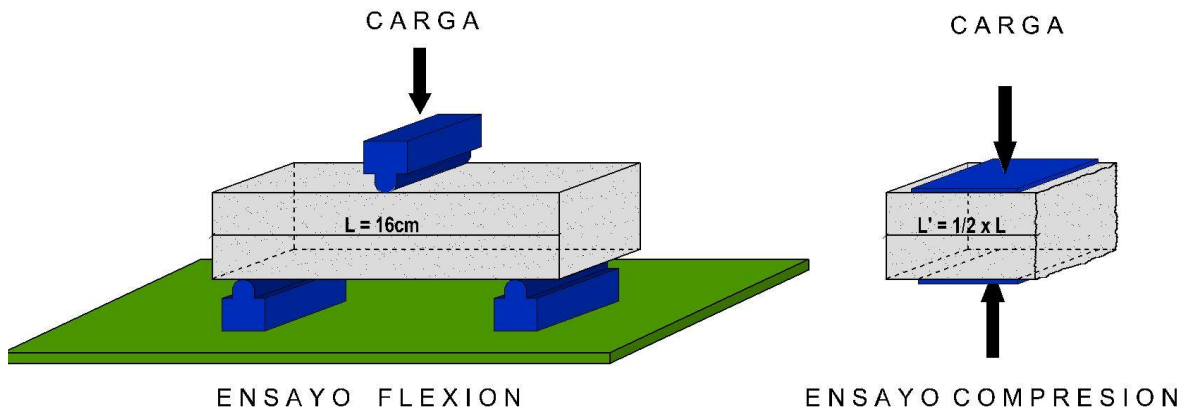


Figura 3.9 Ensayo de resistencia del mortero
Fuente: Manual del mortero, 1989.

3.5.5 Determinación de densidad aparente

La densidad aparente se determina de acuerdo a las formulas de la NCh 1037 Hormigón – Ensayos de compresión de probetas cúbicas y cilíndricas.

3.5.5.1 Procedimiento

- I) Para realizar este ensayo no se realizarán probetas, ya que se utilizarán las probetas que se ensayarán a resistencia mecánica.
- II) Una vez desmoldadas las probetas se procederá a pesar cada una, ya que la densidad aparente se calcula según la fórmula:

$$\text{Densidad aparente} = \frac{\text{Masa}}{\text{volumen}} \text{ kg/m}^3$$

- III) Una vez pesadas se puede continuar con los pasos del ensayo de resistencia.

3.5.5.2 Cálculos

- 1) Para determinar el volumen de la probeta se calcula con la siguiente fórmula:

$$V = S * h$$

Donde:

S = Sección de ensayo, mm² (cm²)

h = Altura promedio, mm (cm)

Capítulo 4: Desarrollo Experimental

4.1 Generalidades

El presente capítulo contiene los antecedentes del desarrollo experimental de la investigación propuesta, los cuales fueron llevados a cabo en los Laboratorios de la Escuela de Construcción. Complementando los datos entregados en el capítulo anterior.

A su vez se describen los procesos que se llevaron a cabo para realizar la caracterización de los áridos y del caucho. Incluyendo la dosificación del hormigón patrón, con este antecedente se logró determinar las variaciones de las dosificaciones de los morteros en los cuales se sustituyó arena por caucho para lograr desarrollar los ensayos propuestos.

4.2 Materiales

Los materiales utilizados en la fabricación de mortero con caucho reciclado son: agua, árido fino, caucho y cemento.

4.2.1 Agua

Para la elaboración de este mortero se utilizó agua potable cumpliendo los requisitos expresados en la NCh 1498, Of. 82 "Hormigón – Agua de amasado – Requisitos".

4.2.2 Árido

El árido utilizado en este caso por tratarse de mortero es exclusivamente arena o árido fino, la cual fue obtenida del río Aconcagua.

4.2.3 Caucho

Se utilizó caucho reciclado de neumáticos fuera de uso, obtenido de la Planta de Reciclaje Polambiente. Empleándose dos tipos para lograr una mezcla de los tamaños de tal modo que esta cumpla con los límites para la arena de la NCh 163. Of 2013.

4.2.4 Cemento

Se utilizó cemento portland puzolánico marca Melón grado corriente. El cual cumple con los requisitos de la NCh 148. Of 68 "Cemento – Terminología, clasificación y especificaciones generales"

4.3 Caracterización de los materiales

Es importante para el desarrollo de la investigación conocer las características físicas de cada material, incluyendo granulometría, densidades y absorción de agua. Comenzando con la NCh 165, Of. 2009 “Áridos para morteros y hormigones – Requisitos”.

4.3.1 Granulometría Arena

El procedimiento se llevó a cabo mediante lo establecido por la NCh 165, Of. 2009 “Áridos para morteros y hormigones – Tamizado y determinación de la granulometría”. Para esto se realizaron tres ensayos, obteniéndose el promedio en la tabla 4.1.

Según lo establecido por la NCh. 163, Of. 2013, se debe realizar una conversión de la granulometría considerando que por el tamiz 5 (mm) pasa el 100% de la arena.

Tabla 4.1 Granulometría Arena

Tamices (mm)	Porcentaje que pasa, en peso		
	Efectivo	Corregido	Requisitos NCh 163
10	100		100
5	93	100	95 - 100
2,5	78	84	80 - 100
1,25	64	69	50 - 85
0,630	55	59	25 - 60
0,315	27	29	5 - 30
0,160	6	6	0 - 10
Módulo de finura	2,77	2,53	

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 4.1 Fotografía de granulometría arena
Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico se puede observar con mayor claridad que la arena corregida cumple con los límites presentes en la NCh 163. Of 2013. Dado que los resultados de la granulometría se encuentra dentro de las bandas granulométricas.

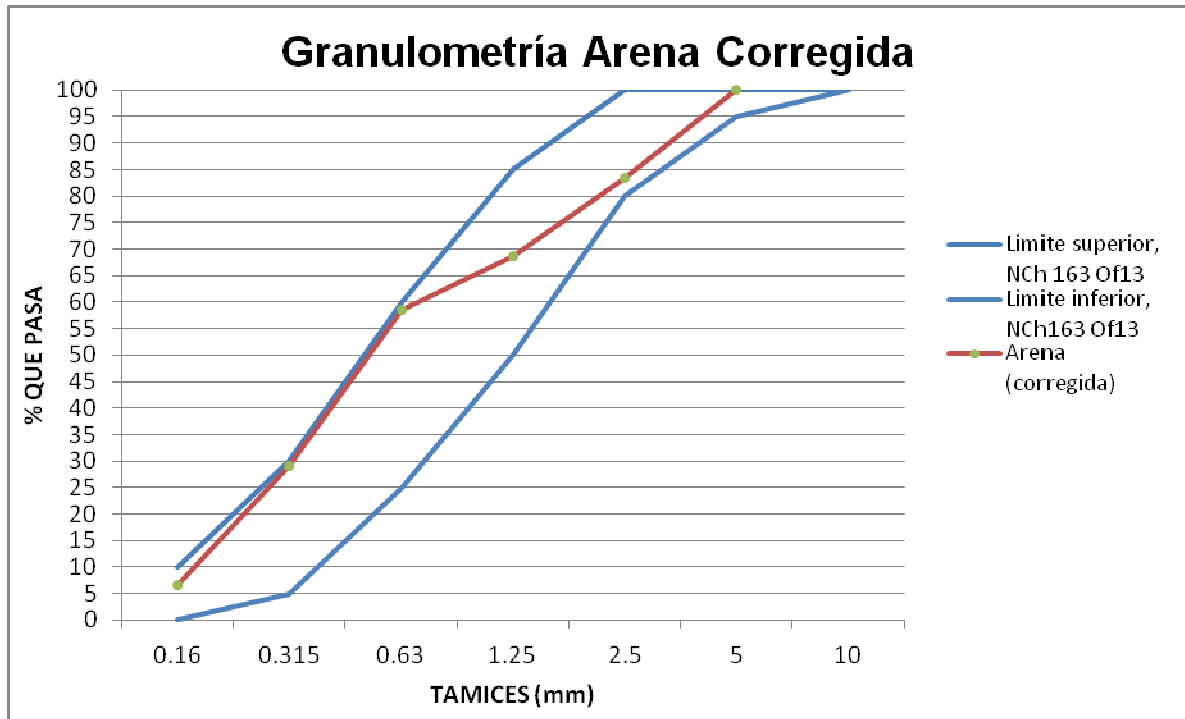


Figura 4.2 Gráfico Granulometría Arena corregida
Fuente: Elaboración Propia

4.3.2 Densidades Arena

Se determinaron la densidad real, neta y la absorción de agua, mediante la NCh 1239. Of1977, "Aridos para morteros y hormigones – Determinación de las densidades real y neta de la absorción de agua de las arenas".

Por otra parte, para complementar la investigación es necesario determinar la densidad aparente, esta se realiza mediante la NCh 1116. Of 1977, "Áridos para morteros y hormigones – Determinación de la densidad aparente"

a) Densidad Real, Neta y Absorción.

i) Densidad real del árido saturado superficialmente seco:

$$\rho_{R\ ss} = \frac{m_{sss}}{M_a + m_{sss} - M_m} \times 1000 \quad (\text{kg/m}^3)$$

ii) Densidad real del árido seco:

$$\rho_{R\ s} = \frac{m_s}{M_a + m_{sss} - M_m} \times 1000 \quad (\text{kg/m}^3)$$

iii) Densidad neta:

$$\rho_N = \frac{m_s}{M_a + m_s - M_m} \times 1000 \quad (\text{kg/m}^3)$$

iv) Absorción:

$$A = \frac{m_{sss} - m_s}{m_s} \times 100 \quad \%$$

Donde

- Ma = Masa del matraz con agua
- Mm = Masa del matraz con agua y arena
- ms = Masa seca
- msss = Masa saturada superficialmente seca

- b) Densidad aparente
i) Densidad aparente suelta

$$\rho_{as} = \frac{m_s}{V} \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Donde

- m_s = Masa del árido suelto que llena la medida
 V = Capacidad volumétrica de la medida

- ii) Densidad aparente compactada

$$\rho_{ac} = \frac{m_c}{V} \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Donde

- m_c = Masa del árido compactado que llena la medida
 V = Capacidad volumétrica de la medida

En la siguiente tabla 4.2 se muestran los datos obtenidos en los ensayos y los resultados de las formulas señaladas.

Tabla 4.2 Densidades y absorción arena.

Determinación	Unidad	Resultado
Densidad real SSS	(kg/m ³)	2.584
Densidad real seca	(kg/m ³)	2.548
Densidad neta	(kg/m ³)	2.643
Absorción	%	1,42
Densidad aparente suelta	(kg/m ³)	1.572
Densidad aparente compactada	(kg/m ³)	1.713

Fuente: Elaboración Propia.

4.4 Caracterización del Caucho

4.4.1 Granulometría del Caucho

El procedimiento se realiza de la misma forma que la llevada a cabo para la arena. Los resultados se presentan en las siguientes tablas.

Tabla 4.3 Granulometría fracciones de caucho promedio de tres ensayos.

Tamiz (mm)	Porcentaje que pasa, en peso	
	Fracción Media	Fracción Fina
10	100	100
5	100	100
2,5	95	100
1,25	35	100
0,63	8	59
0,315	2	17
0,16	0	4
Módulo de finura	3,60	2,20

Fuente: Elaboración Propia.

Para obtener una granulometría de caucho, se mezcló un 66% de caucho tamaño medio y un 34% de caucho tamaño fino. Los resultados obtenidos de esta mezcla se pueden apreciar en la siguiente tabla.

Tabla 4.4 Granulometría Caucho tamaño Mezcla

Tamiz (mm)	Porcentaje que pasa, en peso				
	Fracción Media	Fracción Fina	0,66 FM + 0,34 FF	Mezcla	Requisitos NCh 163
5	100	100	66 + 34	100	95 - 100
2,5	95	100	63 + 34	97	80 - 100
1,25	35	100	23 + 34	57	50 - 85
0,63	8	59	5 + 20	25	25 - 60
0,315	2	17	1 + 6	7	5 - 30
0,16	0	4	0 + 1	1	0 - 10
Módulo de finura				3,13	

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 4.3 Fotografía de granulometría caucho

Fuente: Elaboración propia

Con estas proporciones de caucho se logra una mezcla que cumple con los límites de las bandas para la arena. Como se puede apreciar en la siguiente figura.

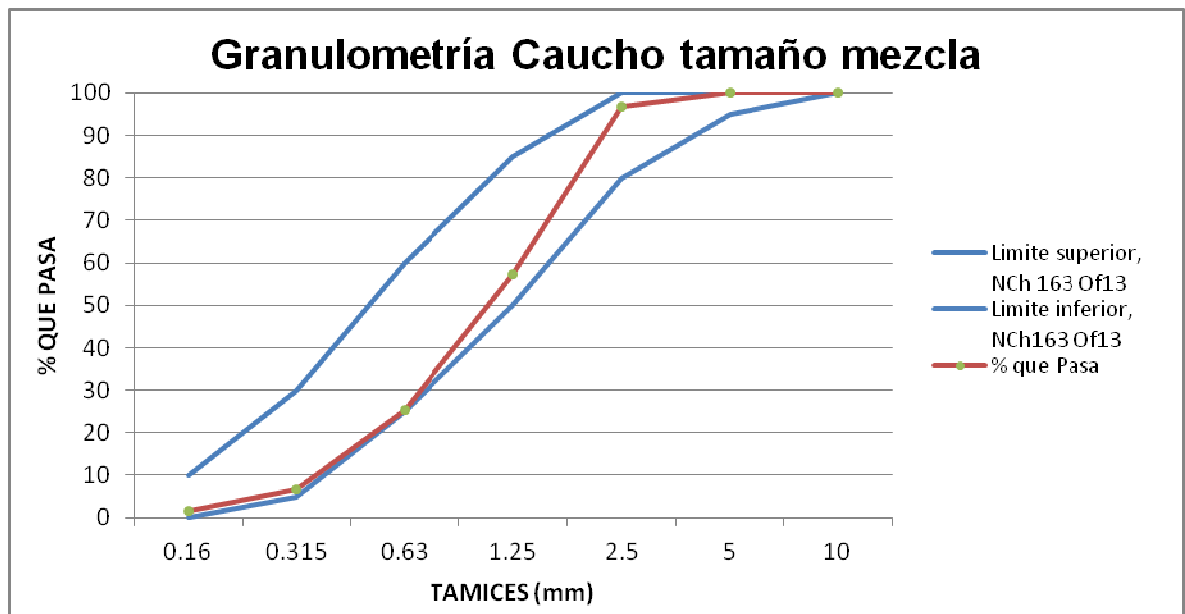


Figura 4.4 Gráfico Caucho tamaño mezcla.

Fuente: Elaboración Propia.

4.4.2 Densidades del Caucho

a) Densidad Neta del Caucho

Para determinar la densidad neta se realizó el mismo procedimiento empleado para determinar la densidad neta de la arena, cambiando el fluido en vez de utilizar agua se empleó alcohol, ya que en este el caucho no flota.

$$\rho \text{ NC} = \frac{M_s}{M_{al} + m_s - M_m} \times \rho_f \quad (\text{kg/m}^3)$$

Donde

- M_s = Masa seca de caucho
 M_{al} = Masa del matraz con alcohol
 M_m = Masa del matraz
 ρ_f = Densidad del alcohol

Tabla 4.5 Densidad neta del Caucho

Tamaño Caucho	Muestra		Muestra 1	Muestra 2	Promedio muestras
Medio	Caucho	M_s	51,2 (g)	55 (g)	53,1 (g)
	Matraz + alcohol	M_{al}	322,5 (g)	324,7 (g)	323,6 (g)
	Matraz + alcohol + caucho	M_n	338,9 (g)	338,8 (g)	338,9 (g)
	Densidad	ρ_N	1,195 (kg/m ³)	1,092 (kg/m ³)	1,143 (kg/m ³)
Fino	Caucho	M_s	47 (g)	51 (g)	49,0 (g)
	Matraz + alcohol	M_{al}	561 (g)	557 (g)	559,0 (g)
	Matraz + alcohol + caucho	M_n	576 (g)	574 (g)	575,0 (g)
	Densidad	ρ_N	1,193 (kg/m ³)	1,218 (kg/m ³)	1,205 (kg/m ³)

Fuente: Elaboración Propia.

b) Densidad aparente del Caucho

Para determinar la densidad aparente se utilizaron los mismos procedimientos y fórmulas que las realizadas para la arena.

Tabla 4.6 Densidad aparente del Caucho

Tamaño Caucho	Muestra	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio muestras
Medio	Recipiente	1,3186 (kg)	1,3186 (kg)	1,3186 (kg)	1,3186 (kg)
	Recipiente + Caucho	1,794 (kg)	1,808 (kg)	1,806 (kg)	1,803 (kg)
	Caucho	0,475 (kg)	0,489 (kg)	0,487 (kg)	0,484 (kg)
	Volumen Recipiente	1040 (cm ³)	1040 (cm ³)	1040 (cm ³)	1040 (cm ³)
	Densidad aparente suelta	457 (kg/m ³)	471 (kg/m ³)	469 (kg/m ³)	465 (kg/m ³)

Fino	Recipiente	1,3186 (kg)	1,3186 (kg)	1,3186 (kg)	1,3186 (kg)
	Recipiente + Caucho	1,6966 (kg)	1,6955 (kg)	1,6961 (kg)	1,696 (kg)
	Caucho	0,378 (kg)	0,3769 (kg)	0,3775 (kg)	0,377 (kg)
	Volumen Recipiente	1040 (cm ³)	1040 (cm ³)	1040 (cm ³)	1040 (cm ³)
	Densidad aparente suelta	363 (kg/m ³)	362 (kg/m ³)	363 (kg/m ³)	363 (kg/m ³)

Fuente: Elaboración Propia.

c) Resumen

A continuación, se presenta una tabla resumen con los resultados de los ensayos de densidad realizados a los distintos tipos de caucho utilizados para esta investigación.

Tabla 4.7 Resumen densidades del Caucho

Tamaño caucho	Determinación	Unidad	Resultado
Medio	Densidad neta	(kg/m ³)	1,143
	Densidad aparente	(kg/m ³)	465
Fino	Densidad neta	(kg/m ³)	1,205
	Densidad aparente	(kg/m ³)	363

Fuente: Elaboración Propia.

4.5 Granulometría Arena/Caucho.

Como se ha mencionado se realizaron morteros con distintos porcentajes de sustitución de arena por caucho, a continuación se analizan las granulometrías obtenidas al realizar las mezclas correspondientes para luego graficar las mismas.

La tabla 4.8 muestra la granulometría de la arena con 5% de sustitución por caucho

Tabla 4.8 Granulometría arena – caucho 5%

Tamiz (mm)	Porcentaje que pasa, en peso			Requisitos NCh 163
	95% Arena	5% Caucho	Mezcla	
10	95	5	100	100
5	88	5	93	95 - 100
2,5	73	5	78	80 - 100
1,25	61	3	64	50 - 85
0,63	52	1	53	25 - 60
0,315	26	0	26	5 - 30
0,16	6	0	6	0 - 10
Módulo de finura			2,80	

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 4.9 muestra la granulometría de la arena con 10% de sustitución por caucho

Tabla 4.9 Granulometría arena – caucho 10%

Tamiz (mm)	Porcentaje que pasa, en peso			Requisitos NCh 163
	90% Arena	10% Caucho	Mezcla	
10	90	10	100	100
5	84	10	94	95 - 100
2,5	70	10	80	80 - 100
1,25	58	6	63	50 - 85
0,63	49	3	52	25 - 60
0,315	25	1	25	5 - 30
0,16	6	0	6	0 - 10
Módulo de finura			2,80	

Fuente: Elaboración propia

La tabla 4.10 muestra la granulometría de la arena con 15% de sustitución por caucho

Tabla 4.10 Granulometría arena – caucho 15%

Tamiz (mm)	Porcentaje que pasa, en peso			
	85% Arena	15% Caucho	Mezcla	Requisitos NCh 163
10	85	15	100	100
5	79	15	94	95 - 100
2,5	66	14	81	80 - 100
1,25	54	9	63	50 - 85
0,63	46	4	50	25 - 60
0,315	23	1	24	5 - 30
0,16	5	0	5	0 - 10
Módulo de finura			2,83	

Fuente: Elaboración propia

La tabla 4.11 muestra la granulometría de la arena con 20% de sustitución por caucho

Tabla 4.11 Granulometría arena – caucho 20%

Tamiz (mm)	Porcentaje que pasa, en peso			
	80% Arena	20% Caucho	Mezcla	Requisitos NCh 163
10	80	20	100	100
5	75	20	95	95 - 100
2,5	62	19	82	80 - 100
1,25	51	11	63	50 - 85
0,63	44	5	49	25 - 60
0,315	22	1	23	5 - 30
0,16	5	0	5	0 - 10
Módulo de finura			2,83	

Fuente: Elaboración propia

En el siguiente gráfico se pueden apreciar las distintas sustituciones efectuadas de arena por caucho. Se concluye que las diferentes mezclas si bien no se encuentran totalmente dentro de los límites de las bandas granulométricas de la NCh 163. Oficial 2013, ya que se desplazan o se acercan mucho al límite inferior en los tamices más grandes correspondientes a 5 y 2,5 mm, lo cual no genera una diferencia significativa. Logrando ser empleadas en esta investigación.

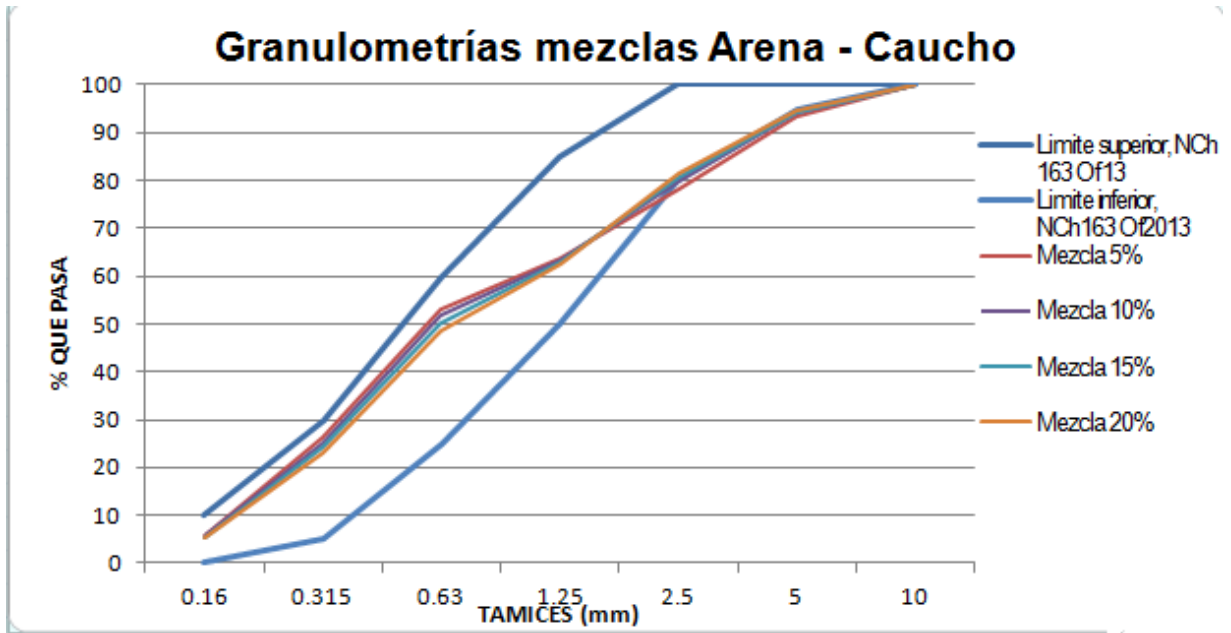


Figura 4.5 Gráfico granulometrías mezcla de arena - % Caucho.
Fuente: Elaboración Propia.

4.6 Dosificación

Es indispensable realizar una dosificación de un mortero patrón para poder tener un parámetro de comparación con los resultados obtenidos.

4.6.1 Dosificación mortero patrón.

El método utilizado para realizar la dosificación del mortero patrón, es el “Método de proporciones volumétricas”, del IDIEM (Instituto de investigación y ensayos de materiales).

El cálculo para morteros especificada por proporciones volumétricas es de la forma 1:n (cemento:arena), se debe estimar la dosis de agua y aire atrapado. Para esto se utilizan las siguientes tablas.

Tabla 4.12 Dosis de agua según Módulo de finura de la arena

Módulo de finura de la Arena	Dosis de agua l/m ³
> 3,20	250
2,80 a 3,20	260
2,40 a 2,80	280
2,00 a 2,40	300
1,60 a 2,00	320
< 1,60	340

Fuente: Método IDIEM

Al realizar la granulometría de la arena se obtuvo el módulo de finura, conociendo este se puede utilizar la tabla, para obtener la dosis de agua.

Tabla 4.13 Aire atrapado según dosis de cemento.

Dosis de cemento (kg/m ³)	Aire atrapado (l/m ³)
< 250	80
250 a 450	60
> 450	40

Fuente: Método IDIEM

La cantidad del cemento se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$C = \frac{1000 - W - a}{\frac{dC}{DC} + n \frac{dA}{DA}}$$

Donde

C	=	Cemento	l/m ³
A	=	Arena	l/m ³
n	=	proporción volumétrica	
W	=	dosis de agua estimada	l/m ³
a	=	cantidad estimada de aire	l/m ³
dC	=	densidad aparente del cemento	Kg/m ³
DC	=	densidad real del cemento	Kg/m ³
dA	=	densidad aparente de la arena	Kg/m ³
DA	=	densidad real de la arena	Kg/m ³

Los datos obtenidos son los siguientes:

N	=	3
W	=	280 l/m ³
A	=	40 l/m ³
dC	=	1,15 Kg/m ³
DC	=	2,85 Kg/m ³
dA	=	1,72 Kg/m ³
DA	=	2,64 Kg/m ³

Los cuales son reemplazados en la fórmula:

$$C = \frac{1000 - 280 - 40}{\frac{1,15}{2,85} + 3 \frac{1,72}{2,64}}$$

$$C = 288,4 \text{ (l/m}^3\text{)}$$

Una vez obtenida la dosis de cemento se puede determinar la cantidad de arena, para lo cual se utiliza la siguiente fórmula:

$$A = n C$$

$$A = 3 * 288,4$$

$$A = 865,12 \text{ (l/m}^3\text{)}$$

Según los datos obtenidos a través de las formulas señaladas anteriormente, se obtuvieron los siguientes valores de los materiales por m³ de mortero.

Tabla 4.14 Dosificación muestra patrón en volumen y kilos para 1 m³.

Materiales	Cantidades m ³	Cantidades Kg
Cemento	288,4 l	331,7 Kg
Arena	865,2 l	1488,1 Kg
Agua	280,0 l	280,0 l
Densidad Mortero		2099,8 Kg/m ³

Fuente: Elaboración Propia.

Una vez obtenida la dosificación del mortero patrón es necesario determinar la cantidad de caucho que fue necesaria para realizar cada sustitución.

En la siguiente tabla, se pueden apreciar los valores desde el mortero patrón hasta completar las distintas proporciones de mortero con sustitución de arena por caucho propuestas para la presente investigación para un m³. Cabe señalar que como la dosificación fue realizada por el método de proporciones volumétricas para realizar esta experiencia en laboratorio estos valores fueron traspasados a kg/m³. Los valores de la tabla 4.15 se encuentran detallados en el anexo 1.

Tabla 4.15 Dosificaciones a fabricar

% Arena/Caucho	Dosificaciones (Kg/m ³)				
	100/0	95/5	90/10	85/15	80/20
Cemento	332	332	332	332	332
Arena	1488	1421	1347	1272	1197
Agua	280	280	280	280	280
Caucho	0	18,9	37,4	56,2	74,9
Caucho Medio	0	12,5	24,7	37,1	49,4
Caucho Fino	0	6,4	12,7	19,1	25,5

Fuente: Elaboración Propia.

Capítulo 5: Presentación y análisis de resultados

5.1 Generalidades

En el presente capítulo se exponen y analizan los resultados obtenidos luego de la realización de los distintos ensayos considerados para determinar las variables dependientes, los cuales se llevaron a cabo mediante los procedimientos descritos en el capítulo tres, "Diseño Experimental".

El estudio y análisis de datos se presenta de acuerdo a las etapas de las actividades experimentales, contando ya con la primera parte de la experiencia que contempla la selección de los materiales y las dosificaciones, expuestos en el capítulo anterior.

Este capítulo inicia determinando la consistencia, una vez comprobada la consistencia de la mezcla más desfavorable, sustitución del 20%, se prosiguió con la realización de los ensayos de absorción de agua, determinación de densidad aparente, resistencia mecánica a flexión y compresión y concluyendo con el ensayo de penetración de agua.

En la figura 5.1 se muestra el orden en el cual fueron obtenidos los resultados de los ensayos.

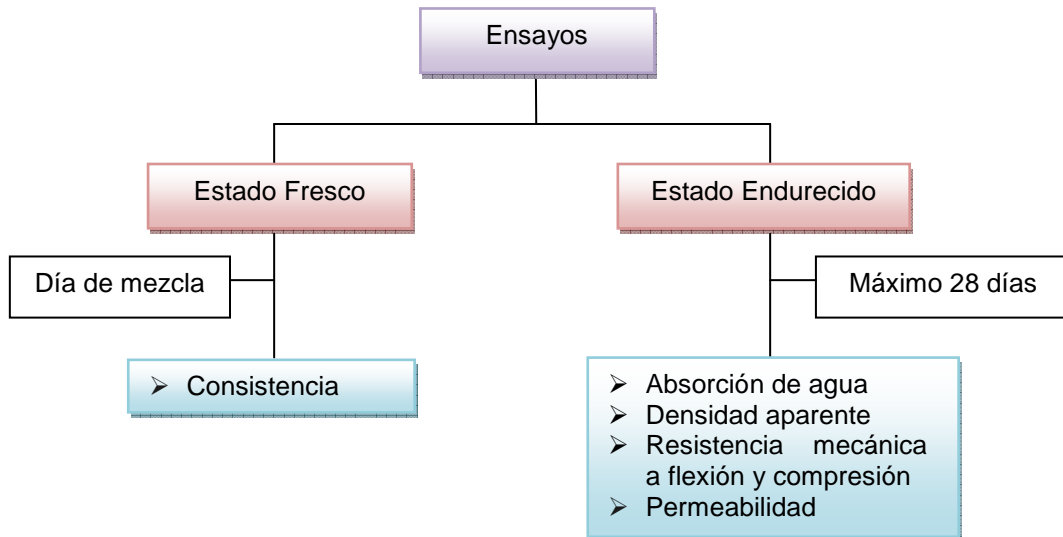


Figura 5.1 Orden de la obtención de resultados.
Fuente: Elaboración propia.

5.2 Consistencia del mortero: Propiedad en estado fresco

El ensayo de consistencia se realizó de acuerdo a la NCh 2257/1. Of96 "Método del extendido en la mesa de sacudida". En la tabla 5.1 se registraron los resultados obtenidos. Este ensayo se llevó a cabo mediante los pasos señalados anteriormente.

Tabla 5.1 Resultados ensayo consistencia

Caucho	% caucho	Consistencia Mesa de sacudida, mm				Promedio (mm)
		Medición n° 1	Medición n° 2	Medición n° 3	Medición n° 4	
Tamaño mezcla	0%	210	220	200	210	210
	5%	220	224	220	218	221
	10%	217	215	210	212	214
	15%	205	200	210	195	203
	20%	200	200	190	200	198

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 5.2 Muestra de consistencia

Fuente: Elaboración propia



Figura 5.3 Extendido ensayo mesa de sacudida

Fuente: Elaboración propia

Todos los ensayos de consistencia realizados tanto a la muestra patrón como a los morteros con sustitución de arena, son clasificados como plásticos, descartando los otros tipos presentes en la norma de requisitos generales, ya que los resultados obtenidos están dentro de los límites 150-240mm.

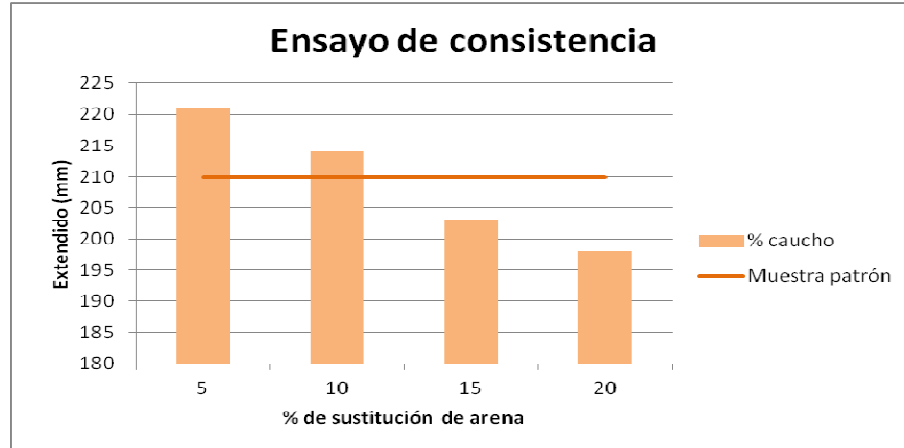


Figura 5.4 Gráfico ensayo consistencia

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 5.4 se puede observar la diferencia entre las mezclas con caucho y la muestra patrón, existen dos porcentajes que el promedio de su consistencia están sobre la muestra patrón, las mezclas de 5 y 10% acercándose al límite del tipo fluido, por otra parte a medida que aumenta el porcentaje de caucho el extendido en la mesa disminuye acercándose los valores a los límites del tipo seco. Una alternativa sería aumentar la relación agua/cemento del mortero, ya que para esta investigación la cantidad de agua se mantuvo constante. Aunque todas las mezclas se encuentran en el tipo plástico, como ya se señaló.

En la tabla 5.2 se muestran los requisitos de consistencia para tres tipos de morteros. Antecedente que ayudara a definir un uso al mortero en estudio.

Tabla 5.2 Requisitos de consistencia para distintos usos del mortero

Morteros	Requisitos de consistencia en mm.
Mortero de junta para albañilería	180- 220
Mortero de revestimiento continuo	180- 200
Mortero de revestimiento discontinuo	150- 200

Fuente: NCh 2256/1. Of 2001

De acuerdo a estos parámetros las mezclas se pueden clasificar como lo indica la tabla 5.3, si bien algunas mezclas cumplen con más de un usos al analizar los demás ensayos se podrá confirmar como se podrán aplicar.

Tabla 5.3 Usos del mortero según los resultados de consistencia.

Tipos de usos de mortero / % Caucho	0%	5%	10%	15%	20%
Mortero de junta para albañilería	*	*	*	*	*
Mortero de revestimiento continuo				*	*
Mortero de revestimiento discontinuo				*	*

Si cumple *

No cumple

Fuente: Elaboración propia

5.3 Absorción de agua

Este ensayo fue realizado mediante un método empírico, se confeccionaron probetas cilíndricas de diámetro 75 mm y altura 100 mm. Se realizaron ensayos a 24 horas luego de desmoldar y otro a los 14 días de edad.

Para ambos ensayos se siguieron los procedimientos descritos en el capítulo 3 punto 3.5.2 Ensayo de absorción de agua. Los resultados de los porcentajes se presentan a continuación:

a) Resultados ensayo de absorción de agua a las 24 horas.

Tabla 5.4 Resultados ensayo de absorción de agua a 24 horas.

Caucho	% caucho	Absorción de agua (%)			Promedio	% Variación
		Probeta n° 1	Probeta n° 2	Probeta n° 3		
Tamaño mezcla	0%	15,0	14,9	14,7	14,9	0
	5%	13,0	13,4	13,0	13,1	-12
	10%	13,7	14,1	13,6	13,8	-7
	15%	14,8	14,2	14,9	14,6	-2
	20%	14,0	13,8	14,1	14,0	-6

Fuente: Elaboración propia

En los resultados se puede observar que a medida que aumenta el porcentaje de sustitución de arena, crece la absorción de agua, esto ocurre hasta el 15% donde dicha mezcla alcanza el punto más alto de las mezclas con caucho, sin embargo no supera el valor de la mezcla patrón teniendo una diferencia de -2%, a partir de este valor comienza a descender nuevamente, al llegar al 20% se presenta una disminución en la absorción de agua del -6%. Lo cual queda demostrado en la siguiente figura.

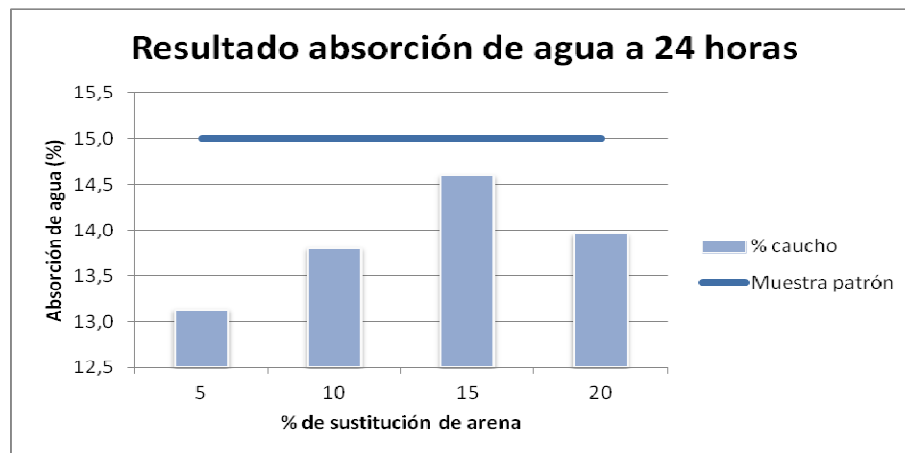


Figura 5.5 Gráfico de resultados de absorción de agua a las 24 horas.

Fuente: Elaboración propia.

b) Resultados ensayo de absorción de agua a los 14 días.

Tabla 5.5 Resultados ensayo de absorción de agua a 14 días.

Caucho	% caucho	Absorción de agua (%)			Promedio	% Variación
		Probeta n° 1	Probeta n° 2	Probeta n° 3		
Tamaño mezcla	0%	9,7	9,5	9,0	9,4	0
	5%	9,8	9,9	10,1	9,9	5
	10%	11,1	10,7	10,1	10,6	13
	15%	11,6	10,8	10,9	11,1	18
	20%	11,2	11,3	11,8	11,5	21

Fuente: Elaboración propia

Al analizar los resultados del ensayo realizado a los 14 días se puede observar que a diferencia del primer ensayo la muestra patrón es en la que se obtiene un valor menor al ser comparada con los otros morteros de este ensayo o con los resultados de las 24 horas. A medida que aumenta la cantidad de sustitución de arena, aumenta la absorción de agua en forma gradual. La mezcla que presenta una mayor absorción es la del 20% a diferencia del otro ensayo en la cual la que obtuvo un valor más elevado fue la muestra patrón. Los nuevos resultados se ven reflejados en el gráfico 5.6 que se presenta a continuación.

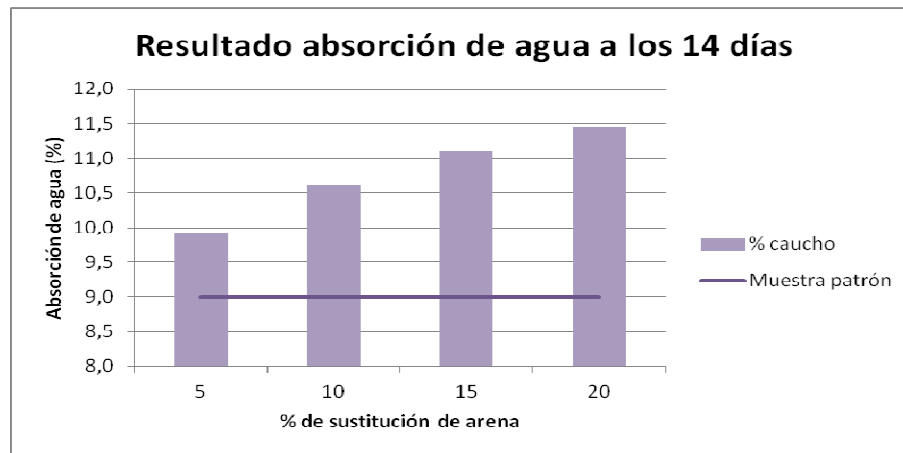


Figura 5.6 Gráfico de resultados de absorción de agua a los 14 días

Fuente: Elaboración propia.

5.4 Densidad aparente del mortero

Para la realización de esta etapa de la experiencia se utilizaron las probetas que fueron ensayadas a flexión y compresión posteriormente.

Tabla 5.6 Resultado de ensayos de densidad aparente

Caucho	% caucho	Densidad aparente (Kg/m ³)						Promedio (Kg/m ³)
		Probeta n° 1	Probeta n° 2	Probeta n° 3	Probeta n° 4	Probeta n° 5	Probeta n° 6	
Tamaño mezcla	0%	2218	2211	2225	2191	2226	2195	2.211
	5%	2158	2157	2131	2140	2132	2154	2.145
	10%	2079	2082	2046	2054	2077	2085	2.070
	15%	2002	2018	2007	2014	2018	2009	2.011
	20%	1951	1973	1960	1944	1975	1954	1.960

Fuente: Elaboración propia

En los resultados obtenidos de densidad aparente se puede apreciar que a medida que aumenta el porcentaje de caucho en el mortero, disminuye la densidad de las mezclas fabricadas. Lo cual se puede observar con mayor claridad en el siguiente gráfico.

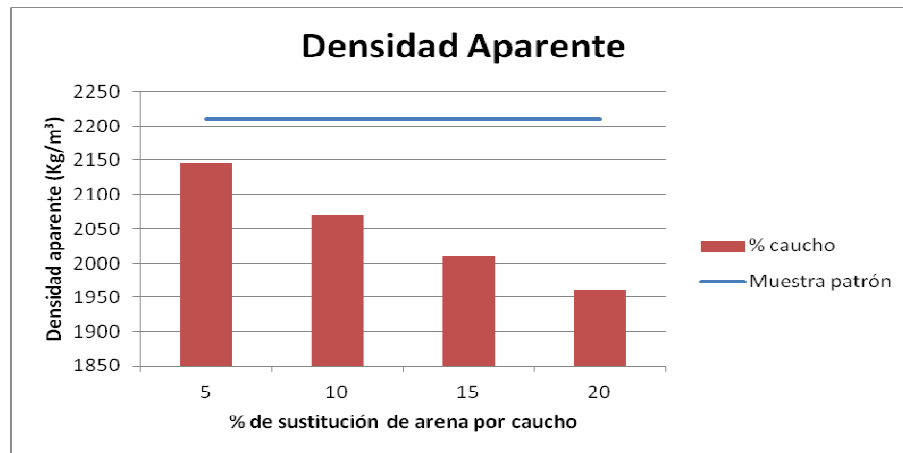


Figura 5.7 Gráfico densidad aparente

Fuente: Elaboración propia

Los datos obtenidos de densidad aparente al ser graficados muestran que los resultados tienen una tendencia lineal, lo cual se representa mediante el siguiente modelo:

$$y = mx + b$$

Donde:

- y: Densidad aparente (kg/m³)
- x: Porcentaje de caucho incorporado.
- m: Pendiente de la recta.
- b: Intercepto.
- r: Coeficiente de correlación.

El modelo matemático resulta $y = 2206,6 - 12,72 x$; con un coeficiente de correlación $r = 0,9952$; con esto se puede concluir que el ensayo tiene un 99,52% de exactitud.

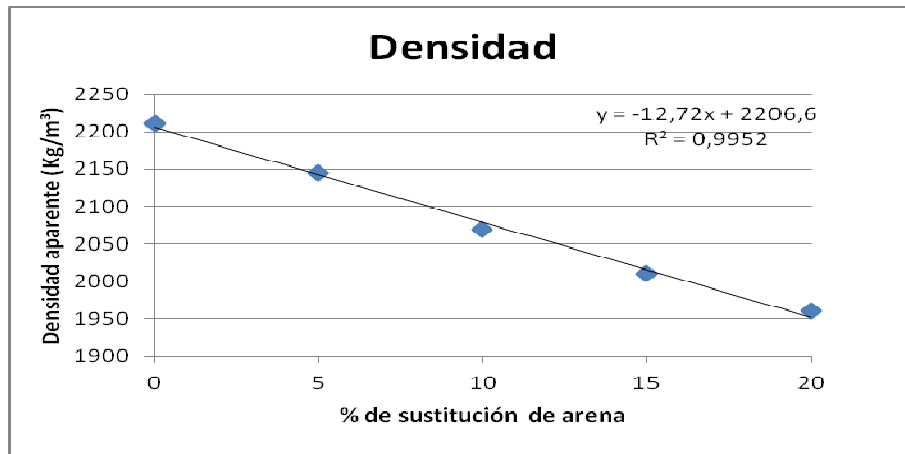


Figura 5.8 Gráfico lineal de la densidad aparente

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se muestra la variación en porcentaje comparada con la muestra patrón, aquí se puede observar que el mortero que tiene un mayor porcentaje de sustitución de arena, tiene una densidad que alcanza un 11% menos que el patrón. Estos resultados eran esperables, ya que la densidad de la arena es mayor que la del caucho por ende a medida que aumenta el caucho en la mezcla la propiedad disminuye como se muestra en la figura 5.7.

Tabla 5.7 Variación de densidad aparente comparada con muestra patrón

Caucho	% caucho	Promedio	%	Reducción (%)
Tamaño mezcla	0%	2211	100	0
	5%	2145	97	-3
	10%	2070	94	-6
	15%	2011	91	-9
	20%	1960	89	-11

Fuente: Elaboración propia

5.5 Resistencia mecánica

El ensayo de resistencia mecánica se llevo a cabo según los procedimientos de la NCh 158. Of 67, “Cemento – Ensayo de flexión y compresión de morteros de cemento”.

Para esto se confeccionaron 6 probetas RILEM de 40 x 40 x 160 mm, como las que se muestran en la figura 5.9, las cuales son ensayadas en primer lugar a flexión y los trozos obtenidos se ensayan posteriormente a compresión.



Figura 5.9 Elaboración probetas RILEM

Fuente: Elaboración propia



Figura 5.10 Probeta RILEM sometida a ensayo de flexión

Fuente: Elaboración propia



Figura 5.11 Probeta RILEM sometida a ensayo de compresión

Fuente: Elaboración propia

5.4.1 Resistencia a flexión

Los resultados obtenidos en el ensayo de flexión se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 5.8 Resultados ensayos de flexión (kg/cm²)

Caucho	% caucho	Resistencia a flexión (Kg/cm ²)						Promedio (Kg/cm ²)
		Probeta n° 1	Probeta n° 2	Probeta n° 3	Probeta n° 4	Probeta n° 5	Probeta n° 6	
Tamaño mezcla	0%	23,6	19,9	21,9	18,3	17,9	23,1	20,8
	5%	31,6	29,9	28,3	25,3	28,1	27,7	28,5
	10%	31,3	30,9	30,1	38,4	24,7	35,3	31,8
	15%	29,5	26,6	28,9	23,2	25,9	26,0	26,7
	20%	22,8	22,2	21,9	19,1	22,5	21,1	21,6

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que la resistencia a la flexión aumenta al ser comparada con la muestra patrón, sin embargo los resultados obtenidos no tienen una tendencia lineal, como queda representado en el siguiente gráfico.

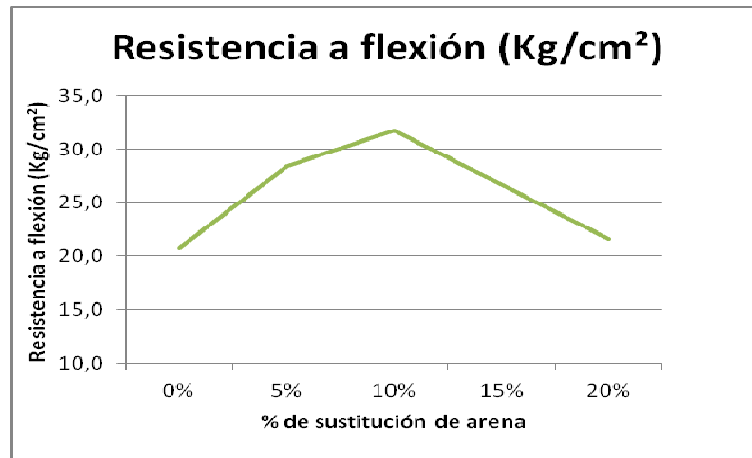


Figura 5.12 Gráfico resultados resistencia a la flexión.

Fuente: Elaboración propia

En el siguiente cuadro se presentan los resultados de la desviación estándar, coeficiente de variación y para concluir la variación que se obtiene al comparar la muestra patrón con las demás mezclas.

Tabla 5.9 Resultados ensayos de flexión (kg/cm²)

Caucho	% caucho	Promedio resistencia flexión	Desviación estándar (mm)	Coefficiente de variación (%)	%	Variación %
Tamaño mezcla	0%	20,8	0,24	1,1	100	0
	5%	28,5	0,21	0,7	137	37
	10%	31,8	0,46	1,5	153	53
	15%	26,7	0,22	0,8	128	28
	20%	21,6	0,13	0,6	104	4

Fuente: Elaboración propia

Los datos obtenidos del ensayo de resistencia a flexión al ser graficados muestran que los resultados tienen una tendencia polinómica, ya que los datos fluctúan, se puede observar en el gráfico que los datos presentan un máximo y mínimo, el modelo matemático es:

$$y = Ax^2 + Bx + C$$

Donde:

- y: Resistencia a flexión (kg/m³)
- x: Porcentaje de caucho incorporado.
- A: Coeficiente cuadrático (A ≠ 0)
- B: Coeficiente lineal
- C: Término independiente
- r: Coeficiente de correlación.

El modelo matemático resulta $y = 21,032 + 193,86 x - 970,49 x^2$; con un coeficiente de correlación $r = 0,9519$; con esto se puede concluir que el ensayo tiene un 95,19% de exactitud.

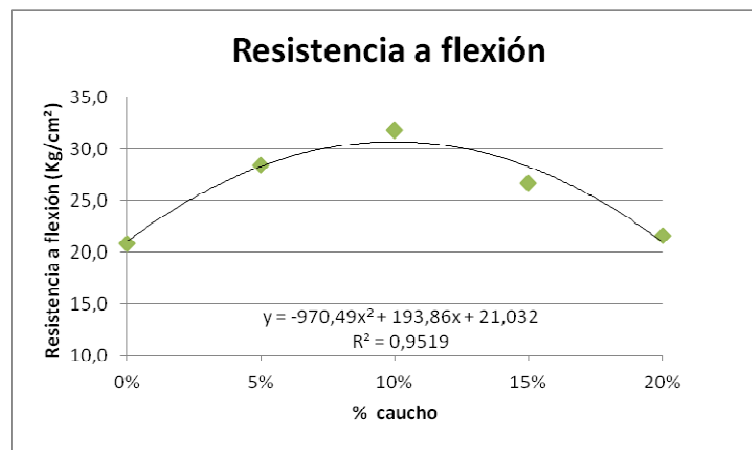


Figura 5.13 Gráfico resultados resistencia a la flexión.

Fuente: Elaboración propia

5.4.2 Resistencia a compresión

Los resultados obtenidos del ensayo de resistencia compresión se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 5.10 Resultados ensayo a compresión (Kg/cm²)

Caucho	% caucho	Resistencia a compresión (kg/cm ²)						Promedio
		Probeta n° 1	Probeta n° 2	Probeta n° 3	Probeta n° 4	Probeta n° 5	Probeta n° 6	
Tamaño mezcla	0%	84,07	87,27	74,48	81,33	85,22	82,48	82,5
	5%	88,64	86,48	96,64	88,42	100,52	94,81	92,6
	10%	100,30	107,60	105,55	105,09	102,81	103,26	104,1
	15%	84,07	77,91	80,19	81,33	86,13	91,15	83,5
	20%	75,80	76,76	84,08	76,99	79,73	77,68	78,5

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que al igual que la resistencia a flexión, la resistencia a compresión aumenta llegando a su punto más alto en la sustitución del 10%, comenzando a disminuir desde ese punto, sin embargo al compararla con la muestra patrón esta tiene un 26% más, por otra parte la mezcla de 20% es la más baja, descendiendo un 5%, sin embargo al comparar los valores con los requisitos de la tabla 5.12, dicho valor cumple con la resistencia mínima señalada por norma.

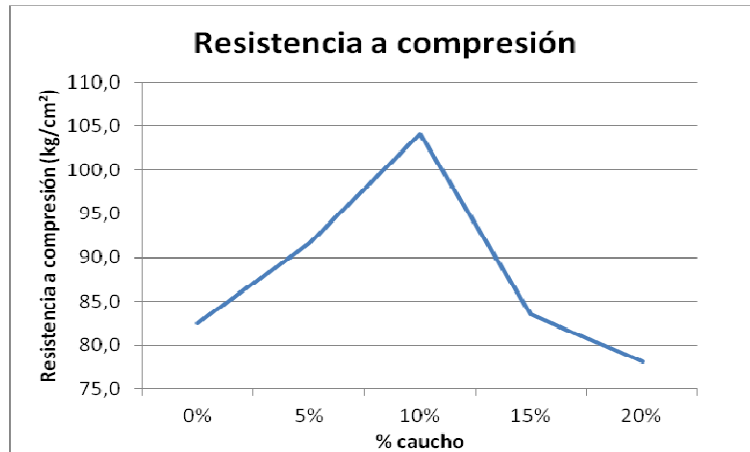


Figura 5.14 Gráfico resultados resistencia a la compresión.

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se presentan los resultados de la desviación estándar, coeficiente de variación y para concluir la variación que se obtiene al comprar la muestra patrón con las demás mezclas.

Tabla 5.11 Resultados de variaciones

Caucho	% caucho	Promedio resistencia compresión	Desviación estándar (mm)	Coefficiente de variación (%)	%	Variación %
Tamaño mezcla	0%	82,5	4,43	5,4	100	0
	5%	92,6	5,56	6,0	112	12
	10%	104,1	2,54	2,4	126	26
	15%	83,5	4,75	5,7	101	1
	20%	78,5	3,03	3,9	95	-5

Fuente: Elaboración propia

Los datos obtenidos del ensayo de resistencia a compresión al ser graficados muestran que los resultados tienen una tendencia polinómica, ya que los datos fluctúan, se puede observar en el gráfico que los datos presentan un máximo y mínimos, el modelo matemático es:

$$y = Ax^2 + Bx + C$$

Donde:

- y: Resistencia a compresión (kg/cm²)
- x: Porcentaje de caucho incorporado.
- A: Coeficiente cuadrático (A ≠ 0)
- B: Coeficiente lineal
- C: Término independiente
- r: Coeficiente de correlación.

El modelo matemático resulta $y = 82,74 + 321,84x - 1779,8x^2$; con un coeficiente de correlación $r = 0,727$; con esto se puede concluir que el ensayo tiene un 72,7% de exactitud. Este porcentaje de correlación se define como regular.

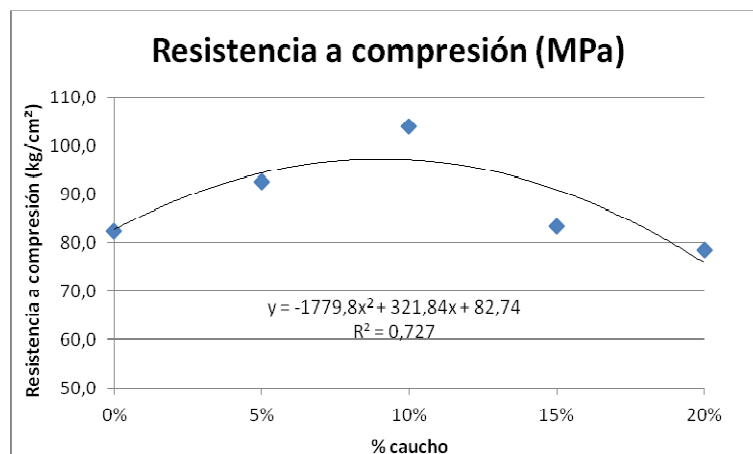


Figura 5.15 Gráfico resultados resistencia a la compresión.

Fuente: Elaboración propia

Como se ha señalado a lo largo de la investigación lo que se busca obtener al finalizar dicho trabajo, es un uso para el mortero según los requisitos normalizados para cada ensayo, como ya se realizó en el ensayo de consistencia, a continuación se efectuará una comparación entre los resultados y los requisitos de la tabla 5.12

Tabla 5.12 Requisitos de resistencia a compresión

Morteros		Requisitos de resistencia mecánica en MPa
Mortero de junta para albañilería armada		10
Mortero de junta para albañilería confinada	Ladrillos artesanales	5
	Ladrillos hechos a maquina	10
Mortero de revestimiento continuo		2,5
Mortero de junta de revestimiento discontinuo		De acuerdo a especificación técnica.

Fuente: NCh 2256-1 Of.2001, NCh 1928 Of.1993 y NCh 2123 Of.1997.

Según esta tabla se establece posibles usos de los morteros realizados, sin embargo para concluir se deben comparar todos los resultados e ir comprobando si realmente cumple con todos los requisitos establecidos por las normas para morteros. Los resultados preliminares son los siguientes.

Tabla 5.13 Usos del mortero según los resultados de resistencia a compresión

Morteros		0%	5%	10%	15%	20%
Mortero de junta para albañilería armada				*		
Mortero de junta para albañilería confinada	Ladrillos artesanales	*	*	*	*	*
	Ladrillos hechos a maquina			*		
Mortero de revestimiento continuo		*	*	*	*	*

Si cumple *

No cumple

Fuente: Elaboración propia

5.6 Permeabilidad

El ensayo de permeabilidad se llevo a cabo mediante los procedimientos descritos en la NCh 2262 modificada el 2009, "Métodos de ensayo. Determinación de impermeabilidad al agua – Método de la penetración de agua bajo presión".

Se confeccionaron tres probetas por porcentaje de 15 x 15 x 12 cm.



Figura 5.16 Probeta para permeabilidad con anillo de goma
Fuente: Elaboración propia



Figura 5.17 Probetas en equipos para ensayar permeabilidad al agua
Fuente: Elaboración propia

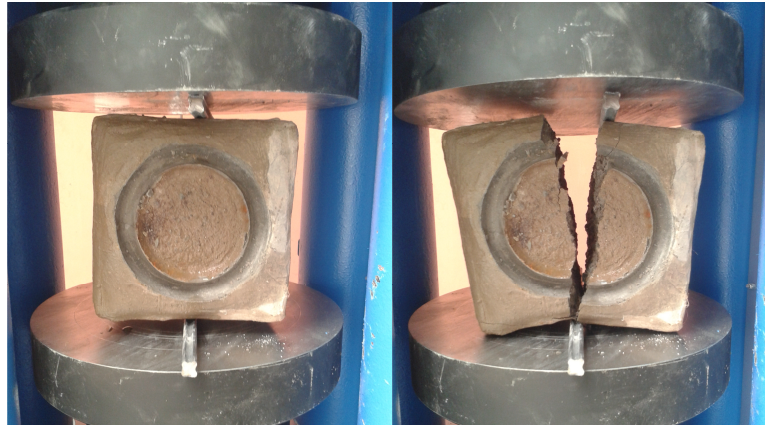


Figura 5.18 Rompimiento de probetas en prensa universal
Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 5.14 Resultados ensayo de permeabilidad

Caucho	% caucho	Penetración de agua máxima			Promedio (mm)	%	% Variación
		Probeta n° 1	Probeta n° 2	Probeta n° 3			
Tamaño mezcla	0%	50,0	50,0	49,0	49,7	100	0
	5%	94,0	106,0	113,0	104,3	210	110
	10%	84,0	76,0	66,0	75,3	152	52
	15%	55,0	74,0	64,0	96,5	194	94
	20%	85,0	86,0	70,0	80,3	162	62

Fuente: Elaboración propia

Los resultados del ensayo de permeabilidad se pueden observar en la tabla 5.14, donde se puede concluir al igual que en la figura que en el porcentaje de 5% es donde existe una mayor permeabilidad, siendo la mezcla patrón la más impermeable.

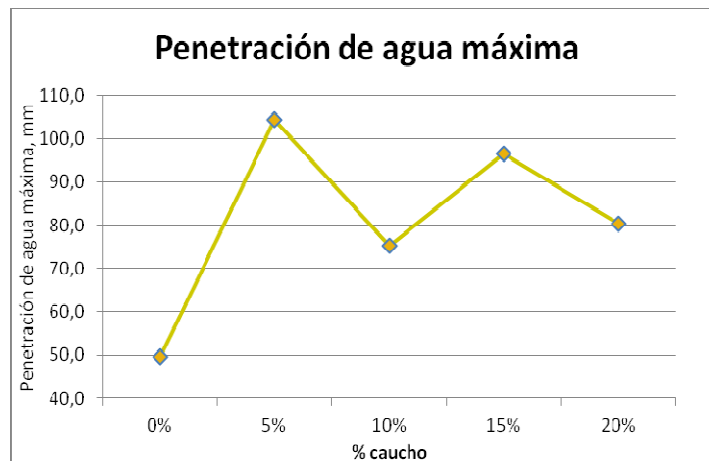


Figura 5.19 Gráfico resultados ensayo de permeabilidad al agua

Fuente: Elaboración propia

Los resultados se presentan a título informativo, al realizar la experiencia se observó presencia de agua en las caras laterales de las probetas con caucho, lo que no ocurrió en las probetas sin caucho. Esas filtraciones podrían haber influido en los resultados. Aparentemente este ensayo no sería aplicable a morteros con inclusión de caucho.

Capítulo 6: Conclusiones y futuras investigaciones

6.1 Generalidades

En el presente capítulo, se sintetizan todos los resultados de los procedimientos y análisis de esta investigación.

Las conclusiones se estructuran de acuerdo al planteamiento de objetivos e hipótesis y luego con la vinculación de las variables medidas.

6.2 Relacionadas con el objetivo general e hipótesis

De acuerdo al objetivo general, los resultados obtenidos en esta investigación permitieron comprobar la factibilidad técnica para reemplazar arena por caucho reciclado. De acuerdo, a los requisitos presentes en normas para la consistencia y resistencia mecánica a compresión, existen tres morteros con sustitución por caucho, de los cuales se pueden identificar posibles usos.

Sería factible emplear la mezcla con 10% de caucho como mortero de junta para albañilerías; las mezclas con 15% y 20% de caucho pueden emplearse como mortero de revestimiento continuo.

Los resultados obtenidos permiten afirmar que la hipótesis se cumple en buena medida. En efecto, la inclusión de caucho contribuye a mejorar algunas propiedades físicas del mortero, siendo mayor su beneficio en cuanto a resistencias mecánicas de flexión y compresión. En cambio, resultan desmejoradas la absorción de agua y la permeabilidad, si bien esta última admite ciertas reservas.

6.3 Relacionadas con los objetivos específicos.

Propiedades físicas.

La mezcla con 5% de caucho presenta la mayor consistencia, sobrepasando a la de la mezcla patrón; al aumentar los contenidos de caucho, la consistencia disminuye, tendiendo al límite seco señalado por la norma NCh 2256.

La incorporación de caucho influye sobre la densidad del mortero disminuyendo esta en forma lineal, hasta llegar a 11% comparada con la del mortero patrón, con un contenido de 20% de caucho.

Respecto a la absorción de agua medida a los 14 días de edad, todas las probetas con inclusión de caucho presentaron mayor absorción que la mezcla patrón, aumentando progresivamente, según el contenido de caucho, hasta llegar al 21% más que la muestra patrón, con el 20% de caucho.

El ensayo de permeabilidad entregó resultados contradictorios, aunque mayores que el de la muestra patrón en todas las mezcla con reemplazo de arena por caucho. Sin embargo, sería posible que el ensayo no fuese aplicable a morteros con inclusión de caucho.

Propiedades mecánicas

Los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia, tanto a flexión como a compresión, demuestran que la adición de caucho en el mortero es favorable. En los ensayos de flexión, todas las mezclas con caucho mostraron resistencias mayores que la mezcla patrón, comprobando que la mayor resistencia se obtuvo con un 10% de caucho, 53% mayor que la resistencia de la mezcla patrón.

En los ensayos de compresión, exceptuando a la mezcla con 20% de caucho, todas las mezclas con caucho mostraron resistencia superiores a la de la muestra patrón, obteniéndose la mayor resistencia con un 10% de caucho, 26% mayor que la resistencia de la mezcla patrón.

6.4 Futuras investigaciones.

Como futura investigación se plantea la corroboración de las aplicaciones que se proponen de acuerdo a los resultados obtenidos en la presente tesis. Aplicando los ensayos de acuerdo a cada uso.

Además, de evaluar las propiedades térmicas y acústicas a los morteros, ya que sería interesante ver los resultados de estas propiedades basándose en los antecedentes recopilados como marco teórico.

Bibliografía

- **Albano, C; Camacho, N; Hernández, M; Bravo, A; Guevara, H; Parincagua, B. (2013).** Propiedades del hormigón de cemento portland modificado con caucho de desecho de diferentes w/c proporciones.
- **Álvarez, J (2005).** Caracterización de morteros para revestimiento con polvo de piedra. Revista de la construcción, Volumen 4 N°2, Diciembre 2005
- **Barra, M; Jordana, F; Royano, V; Vázquez, E. (2009).** “Realización de ensayos de laboratorio de hormigón con caucho procedente de neumáticos fuera de uso (NFU)”
- **Benítez, A; Polzinett, M; Agnello, J.** Desarrollo de mezclas de hormigón con la adición de partículas de caucho.
- **Botero, J; Valentin, M; Suarez, O; Santos, J; Acosta, F; Cáceres, A; Pando, M. (2005).** “Gomas trituradas: estado del arte, situación actual y posibles usos como materia prima en puerto rico”
- **Bustamante, R; Mayor, P; Rangel, C; Hernández-Olivares, F. (2008).** Propiedades térmicas, acústicas y mecánicas de placas de mortero caucho-cemento.
- **CPL (Septiembre 2009):** Prevención y valorización de neumáticos fuera de uso.
- **FER.** Experiencia del caucho NFU en las mezclas asfálticas.
- **Ficha técnica, (2012).** Neumáticos fuera de uso (NFU). Disponible en:
<http://www.cedexmateriales.vsf.es/view/archivos/residuos/287.pdf>
- **Martínez, J. (2005).** Guía para la gestión integral de residuos peligrosos. Disponible en:
http://www.ccbasilea-crestocolmo.org.uy/wp-content/uploads/2010/11/gestion_r02-fichas_tematicas.pdf
- **Muñoz, D. (2013).** Estudio de la permeabilidad de hormigones con caucho reciclado. Memoria para optar al título de Ingeniero Constructor y grado académico de licenciado ciencias de la construcción. Universidad de Valparaíso.
- **Pino, N. (2012).** Factibilidad técnica de uso de hormigón caucho para minimizar la retracción en el hormigón. Memoria para optar al título de Ingeniero Constructor y grado académico de licenciado ciencias de la construcción. Universidad de Valparaíso.
- **Ramírez, O. (2003).** Morteros guía general.
- **Reciclaje de llantas usadas: la nueva economía ecológica.**
- **Revista del caucho (Diciembre 2007):** Reutilización, reciclado y disposición final de neumáticos.
- **Téjela, J. (2013).** El caucho de neumáticos fuera de uso en carreteras. Disponible en:
<http://www.interempresas.net/Automocion/Articulos/109593-El-caucho-de-neumaticos-fuera-de-uso-en-carreteras.html>
- **Turatsinze, A; Bonnet, S; Granju, J-L. (2005).** Potencial de goma agregados para modificar las propiedades del cemento-mortero a base: Mejora de la resistencia al agrietamiento por contracción.

Normas

- **NCh 158. Of 1967:** Ensayo de flexión y compresión de morteros de cemento.
- **NCh 163. Of 1975:** Áridos para morteros y hormigones – Requisitos generales.
- **NCh 165. Of 2013:** Áridos para morteros y hormigones – Tamizado y determinación de la granulometría.
- **NCh 1116. Of 1977:** Áridos para morteros y hormigones – Determinación de la densidad aparente.
- **NCh 1239. Of 2009:** Áridos para morteros y hormigones – Determinación de las densidades real y neta de la absorción de agua de las arenas.
- **NCh 2256. Of 2001:** Morteros – Parte 1: Requisitos generales.
- **NCh 2257. Of 1996:** Determinación de la consistencia – Parte 1: Método del extendido en la mesa de sacudida.
- **NCh 2262. Of 2009:** Métodos de ensayo- Determinación de impermeabilidad al agua – Método de la penetración de agua bajo presión.

Anexos

Anexo 1: Demostración cálculos de dosificación.

I) Porcentaje 5%

a)	Volumen aparente arena	$\frac{P \text{ arena}}{\rho \text{ arena}} = \frac{1489}{1720} = 0,87 \text{ (m}^3\text{)}$
b)	Vol. Aparente caucho	$\text{Vol ap arena} \times 5\% = 0,87 \times 0,05 = 0,044 \text{ (m}^3\text{)}$
c)	Den. Ponderada caucho	$\rho_1 \times \%1 + \rho_2 \times \%2 = \frac{465 \times 0,66 + 363}{x 0,34} = 430,32 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$
d)	Peso caucho	$\text{Vol aparente caucho} \times \text{den. Ponderada caucho} = 0,044 \times 430,32 = 18,9 \text{ (Kg)}$
e)	Vol. Final arena	$\text{Vol. Aparente arena} - \text{vol. Aparente caucho} = 0,87 - 0,044 = 0,826 \text{ (m}^3\text{)}$
f)	Peso final arena	$\text{Vol. Final arena} \times \rho \text{ arena} = 0,826 \times 1720 = 1420,72 \text{ (kg)}$

II) Porcentaje 10%

a)	Volumen aparente arena	$\frac{P \text{ arena}}{\rho \text{ arena}} = \frac{1489}{1720} = 0,87 \text{ (m}^3\text{)}$
b)	Vol. Aparente caucho	$\text{Vol ap arena} \times 10\% = 0,87 \times 0,10 = 0,087 \text{ (m}^3\text{)}$
c)	Den. Ponderada caucho	$\rho_1 \times \%1 + \rho_2 \times \%2 = \frac{465 \times 0,66 + 363}{x 0,34} = 430,32 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$
d)	Peso caucho	$\text{Vol aparente caucho} \times \text{den. Ponderada caucho} = 0,087 \times 430,32 = 37,44 \text{ (Kg)}$
e)	Vol. Final arena	$\text{Vol. Aparente arena} - \text{vol. Aparente caucho} = 0,87 - 0,087 = 0,783 \text{ (m}^3\text{)}$
f)	Peso final arena	$\text{Vol. Final arena} \times \rho \text{ arena} = 0,783 \times 1720 = 1346,76 \text{ (kg)}$

III) Porcentaje 15%

a)	Volumen aparente arena	$\frac{P \text{ arena}}{\rho \text{ arena}} = \frac{1489}{1720} = 0,87 \text{ (m}^3\text{)}$
b)	Vol. Aparente caucho	$\text{Vol ap arena} \times 5\% = 0,87 \times 0,15 = 0,1305 \text{ (m}^3\text{)}$
c)	Den. Ponderada caucho	$\rho_1 \times \%1 + \rho_2 \times \%2 = \frac{465 \times 0,66 + 363}{x 0,34} = 430,32 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$
d)	Peso caucho	$\text{Vol aparente caucho} \times \text{den. Ponderada caucho} = 0,1305 \times 430,32 = 56,16 \text{ (Kg)}$
e)	Vol. Final arena	$\text{Vol. Aparente arena} - \text{vol. Aparente caucho} = 0,87 - 0,1305 = 0,7395 \text{ (m}^3\text{)}$
f)	Peso final arena	$\text{Vol. Final arena} \times \rho \text{ arena} = 0,7395 \times 1720 = 1271,94 \text{ (kg)}$

IV) Porcentaje 20%

a)	Volumen aparente arena	$\frac{P \text{ arena}}{\rho \text{ arena}} = \frac{1489}{1720} = 0,87 \text{ (m}^3\text{)}$
b)	Vol. Aparente caucho	$\text{Vol ap arena} \times 5\% = 0,87 \times 0,20 = 0,174 \text{ (m}^3\text{)}$
c)	Den. Ponderada caucho	$\rho_1 \times \%1 + \rho_2 \times \%2 = \frac{465 \times 0,66 + 363}{x 0,34} = 430,32 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$
d)	Peso caucho	$\text{Vol aparente caucho} \times \text{den. Ponderada caucho} = 0,174 \times 430,32 = 74,88 \text{ (Kg)}$
e)	Vol. Final arena	$\text{Vol. Aparente arena} - \text{vol. Aparente caucho} = 0,87 - 0,174 = 0,696 \text{ (m}^3\text{)}$
f)	Peso final arena	$\text{Vol. Final arena} \times \rho \text{ arena} = 0,696 \times 1720 = 1197,12 \text{ (kg)}$