



Facultad de Ingeniería
Escuela de Construcción Civil

**“Factibilidad del Empleo de Caucho Reciclado en la
Fabricación de Ladrillos de Hormigón para
Albañilería Reforzada”**

Por

Claudia Alejandra Valdebenito Arellano

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

Prof. Guía: Juan Egaña Ramos

Mayo, 2015

Agradecimientos

La culminación de esta etapa lleva consigo la participación implícitamente de un conjunto social que constituyó un sostén sólido para concretar un fin, les doy las gracias por el apoyo en distintas o en todas las etapas que viví durante este proceso.

Agradezco en primer lugar a mi familia por ser mi pilar fundamental, por estar siempre presente en momentos de dichas y desilusiones, además por el sacrificio entregado para que jamás me faltara algo, a mi mamá fuera de serie, gracias por confiar siempre en mí y darme una palabra de aliento cada vez que fue necesario, a mi hermana por ser mi mejor amiga y por sus consejos, además de entregarme sus conocimientos, a mi papá por ayudarme a encontrar mi vocación y por su apoyo durante todos los años que estuvo presente. Gracias a mi familia en general por toda su dedicación.

Agradezco a Fabián por llegar en el momento justo por entregarme su amor, apoyo y por sus consejos que me han ayudado a crecer, además por enseñarme un mundo desconocido y que extrañare fuera de la universidad.

Agradezco a mis amigos también por el apoyo que me brindaron en los distintos procesos que viví, por la compañía que me otorgaron durante los años de estudio o en el periodo final mientras trabajaba en los laboratorios. Gracias a todos, especialmente a los de siempre, Sindhy Chávez y Pablo Villalobos.

Agradezco a mi profesor guía por su dedicación durante la realización de la tesis, por su compromiso y por demostrar cada día que esto lo realiza por vocación, siempre dispuesto para aclarar cualquier inquietud o para entregar un consejo.

Agradezco a Emperatriz por la confianza y ayuda entregada durante estos años y a Aldo por estar siempre dispuesto a colaborar en las investigaciones realizadas en los laboratorios.

Dedicatoria

Dedicada a mi familia por confiar siempre en mí, gracias por el apoyo incondicional que me brindan día a día.

A mi mamá por demostrarme que se puede lograr todo lo que uno se proponga en la vida, por su inteligencia, dedicación, amor, consejos por ser un ejemplo a seguir.

A mi hermana por ser la mujer que es hoy en día, por apoyarme en todo momento, por el amor entregado y compañía.

En memoria de mi padre quien siempre estuvo presente, demostró ser un padre ejemplar entregándome mucho amor, sabiduría y humildad.

Índice

<i>Lista de abreviaturas y siglas</i>	7
<i>Lista de Figuras</i>	8
<i>Lista de Tablas</i>	10
<i>Resumen</i>	13
<i>Abstract</i>	14
1. Presentación del Tema	15
1.1. Introducción.....	15
1.2. Justificación del tema	16
1.3. Objetivos	19
1.4. Hipótesis	19
1.5. Alcances	20
1.6. Estudios y usos en la actualidad	20
1.7. Programa experimental.....	21
1.8. Selección de materiales	24
1.9. Factibilidad de la investigación	25
1.10. Producto y aporte esperado	26
2. Marco Teórico	27
2.1. Generalidades de la albañilería.....	27
2.2. Albañilería reforzada o confinada	28
2.3. Ladrillos.....	29
2.4. Clases de ladrillos cerámicos	31
2.5. Grados de los ladrillos cerámicos.....	33
2.6. Materiales utilizados en la fabricación de albañilería reforzada	34
2.7. Arcilla.....	35
2.8. Mortero de pega.....	35
2.9. Hormigón.....	36
2.10. Propiedades del hormigón fresco	38
2.11. Propiedades del hormigón en estado endurecido	39

2.12. Caucho reciclado de neumáticos fuera de uso	40
2.13. Volumen y distribución de los neumáticos fuera de uso.....	41
2.14. Valorización de los Neumáticos Fuera de Uso	42
2.15. Propiedades de los neumáticos.....	43
2.16. Procesamiento o transformación de los neumáticos fuera de uso.....	46
2.17. Propiedades del material procesado	47
2.18. Hormigón con caucho	47
2.19. Normativa y ensayos	50
3. <i>Diseño Experimental</i>	56
3.1. Antecedentes generales	56
3.2. Etapas de la actividad experimental	56
3.3. Metodología de la investigación.....	57
3.4. Detalles generales de la experiencia.....	58
3.5. Planteamiento y Definición de Variables	59
3.6. Factorial de ensayo	62
3.7. Máquina para la fabricación de ladrillos	64
4. <i>Desarrollo Experimental</i>	65
4.1. Generalidades	65
4.2. Caracterización de los áridos.....	65
4.3. Características de la grava	65
4.4. Densidades de la grava	68
4.5. Características de la arena	70
4.6. Densidades de la arena	73
4.7. Características del caucho	76
4.8. Dosificación de la experiencia.....	87
4.9. Primera etapa.....	91
4.10. Ensayos y resultados, primera etapa	95
4.11. Elaboración de los ladrillos, segunda etapa	98
5. <i>Análisis y presentación de los resultados</i>.....	102
5.1. Generalidades	102

5.2. Absorción de agua	102
5.3. Determinación de la succión	105
5.4. Resistencia a la compresión	107
5.5. Ensayo de adherencia de cizalle	110
5.6. Análisis de costo de los ladrillos	113
6. Conclusiones y proposición de nuevas investigaciones.....	116
6.1. Conclusiones	116
6.2. Propuestas para futuras investigaciones	118
Bibliografía	119
Anexo	123

Lista de abreviaturas y siglas

Atm : Atmósfera.

ACI : American Concrete Institute.

°C : Grado Celsius.

CINC : Cámara de la Industria de Neumáticos de Chile.

Cm : Centímetros.

cm² : Centímetros cuadrados.

cm³ : Centímetros cúbicos.

CLP : Consejo Nacional de Producción Limpia.

g : Gramos.

HC : Hormigón con Caucho.

ICH : The International Conference on Harmonisation of Technical Requirements for Registration of Pharmaceuticals for Human Use.

IDIEM : Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales.

INN : Instituto Nacional de Normalización.

Kg : Kilogramos.

m³ : Metros cúbicos.

MINVU : Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

mm : Milímetros.

MPa : Mega Pascal.

NCh : Norma chilena.

NFU : Neumáticos Fuera de Uso.

t : Toneladas.

Lista de Figuras

Figura 1.1. Usos del Caucho Reciclado.....	21
Figura 1.2. Metodología de trabajo.	23
Figura 1.3. Neumáticos Reciclados Triturados.	24
Figura 2.1. Albañilería Confinada.	28
Figura 2.2. Ladrillo Macizo MqM.....	31
Figura 2.3. Ladrillo con huecos verticales y horizontales MqH.....	32
Figura 2.4. Ladrillo perforado MqP.....	32
Figura 2.5. Ladrillo hecho a mano MnM.....	33
Figura 2.6. Aplicación de mortero de pega.	36
Figura 2.7. Neumáticos en desuso enviados a Santiago desde Antofagasta.....	41
Figura 2.8. Distribución Geográfica de los Neumáticos Fuera de Uso.	42
Figura 2.9. Nomenclatura de un neumático.....	43
Figura 2.10. Proceso de trituración NFU.....	46
Figura 2.11. Nomenclatura del ladrillo.....	50
Figura 2.12. Verificación dimensional de los ladrillos.....	51
Figura 2.13. Planeidad de las caras.....	51
Figura 2.14. Rectitud de las aristas.....	52
Figura 2.15. Ortogonalidad de los ángulos externos.	52
Figura 3.1. Diagrama metodología de trabajo.	57
Figura 3.2. Máquina para la elaboración de ladrillos.	64
Figura 4.1. Gráfico de banda granulométrica de la grava más promedio de las muestras.	67
Figura 4.2. Gráfico de banda granulométrica de la arena corregida.....	73
Figura 4.3. Ensayo Cono de Abrams.	93
Figura 4.4. Llenado de probetas.	94
Figura 4.5. Probetas en la piscina de curado.	94
Figura 4.6. Máquina para ensayo de compresión.	95
Figura 4.7. Probetas ensayadas.....	97
Figura 4.8. Descripción del ladrillo.....	98

Figura 4.9. Dosis de grava, arena y caucho y elaboración de hormigón en betonera.	99
Figura 4.10. Compactación del ladrillo.	100
Figura 4.11. Maquina compactadora y ladrillo.....	101
Figura 4.12. Ladrillos elaborados con un 20% de caucho.....	101
Figura 5.1. Secado en horno ladrillos cerámicos.....	102
Figura 5.2. Inmersión total de los ladrillos elaborados.....	103
Figura 5.3. Ladrillo artesanal luego de la inmersión.	105
Figura 5.4. Ladrillo artesanal con caras de carga refrentadas.	107
Figura 5.5. Ladrillo elaborado en máquina de ensayo.....	108
Figura 5.6. Ensayo de compresión a ladrillo cerámico.....	108
Figura 5.7. Probetas para ensayo de adherencia ladrillo artesanal.	110
Figura 5.8. Probetas para ensayo de adherencia ladrillo elaborado.....	111
Figura 5.9. Ensayo de adherencia a ladrillo elaborado.....	111

Lista de Tablas

Tabla 2.1. Grado 1 de los ladrillos.	33
Tabla 2.2. Grado 2 de los ladrillos.	34
Tabla 2.3. Grado 3 de los ladrillos.	34
Tabla 2.4. Materiales de los neumáticos.....	44
Tabla 2.5. Peso medio de los neumáticos.....	45
Tabla 2.6. Clases de ladrillos cerámicos.....	53
Tabla 2.7. Requisitos de forma y terminación.....	54
Tabla 3.1. Total litros de mezcla para hormigones.....	58
Tabla 3.2. Características del cemento.	60
Tabla 3.3. Distribución del porcentaje de caucho según mezclas de hormigón.	62
Tabla 3.4. Distribución de identificación de mezclas según ensayos a realizar.	63
Tabla 4.1. Muestra N° 1 granulometría de la grava.....	66
Tabla 4.2. Muestra N° 2 granulometría de la grava.....	66
Tabla 4.3. Muestra N° 3 granulometría de la grava.....	66
Tabla 4.4. Promedio de las muestras de granulometría de grava.	67
Tabla 4.5. Densidad aparente suelta de la grava.....	68
Tabla 4.6. Densidad aparente compactada de la grava.	69
Tabla 4.7. Densidad real, neta y absorción de agua.	70
Tabla 4.8. Muestra N°1 de la granulometría de la arena.	70
Tabla 4.9. Muestra N°2 de la granulometría de la arena.	71
Tabla 4.10. Muestra N°3 de la granulometría de la arena.	71
Tabla 4.11. Promedio de las granulometrías de la arena.	72
Tabla 4.12. Corrección de la granulometría de la arena.	72
Tabla 4.13. Densidad aparente suelta de la arena.	74
Tabla 4.14. Densidad aparente compactada de la arena.	74
Tabla 4.15. Densidad real, neta y absorción de agua de la arena.	75
Tabla 4.16. Muestra N°1 de la granulometría del caucho tamaño polvo.....	76
Tabla 4.17. Muestra N°2 de la granulometría del caucho tamaño polvo.....	77
Tabla 4.18. Muestra N°2 de la granulometría del caucho tamaño polvo.....	77

Tabla 4.19. Promedio de las muestras de granulometría del caucho tamaño polvo.	77
Tabla 4.20. Muestra N°1 de la granulometría del caucho tamaño fino.	78
Tabla 4.21. Muestra N°2 de la granulometría del caucho tamaño fino.	78
Tabla 4.22. Muestra N°3 de la granulometría del caucho tamaño fino.	79
Tabla 4.23. Promedio de las muestras de granulometría del caucho tamaño fino.	79
Tabla 4.24. Muestra N°1 de la granulometría del caucho tamaño medio.	80
Tabla 4.25. Muestra N°2 de la granulometría del caucho tamaño medio.	80
Tabla 4.26. Muestra N°3 de la granulometría del caucho tamaño medio.	81
Tabla 4.27. Promedio de las muestras de granulometría del caucho tamaño medio.	81
Tabla 4.28. Muestra N°1 de la granulometría del caucho tamaño grueso.	82
Tabla 4.29. Muestra N°2 de la granulometría del caucho tamaño grueso.	82
Tabla 4.30. Muestra N°3 de la granulometría del caucho tamaño grueso.	83
Tabla 4.31. Promedio de las muestras de granulometría del caucho tamaño grueso.	83
Tabla 4.32. Promedio de las muestras de granulometría del caucho tamaño polvo, fino, medio y grueso.	84
Tabla 4.33. Dosis de caucho en tamaño polvo, fino, medio y grueso.	84
Tabla 4.34. Densidad aparente suelto del caucho tamaño polvo.	85
Tabla 4.35. Densidad aparente suelta del caucho tamaño fino.	85
Tabla 4.36. Densidad aparente suelta del caucho tamaño medio.	85
Tabla 4.37. Densidad aparente suelta del caucho tamaño grueso.	86
Tabla 4.38. Densidad aparente compactada del caucho tamaño polvo.	86
Tabla 4.39. Densidad aparente compactada del caucho tamaño fino.	86
Tabla 4.40. Densidad aparente compactada del caucho tamaño medio.	87
Tabla 4.41. Densidad aparente compactada del caucho tamaño grueso.	87
Tabla 4.42. Estimación del peso de un metro cubico de hormigón fresco compactado.	89
Tabla 4.43. Dosis de agua, en función de la dosis de cemento.	89
Tabla 4.44. Dosificación de los hormigones.	90
Tabla 4.45. Dosificación para 0,01 m ³ de hormigón, en kg.	91
Tabla 4.46. Resultados ensayo de compresión.	96
Tabla 4.47. Dosificación escogida.	99
Tabla 5.1. Ensayo de absorción de agua ladrillos cerámicos.	103

Tabla 5.2. Ensayo de absorción de agua ladrillos elaborados.	104
Tabla 5.3. Ensayo de succión ladrillos cerámicos.	106
Tabla 5.4. Ensayo de succión ladrillos elaborados.	106
Tabla 5.5. Resistencia a la compresión ladrillos cerámicos.	109
Tabla 5.6. Resistencia a la compresión ladrillos elaborados.	109
Tabla 5.7. Resultados ensayo de adherencia a ladrillos cerámicos.	112
Tabla 5.8. Resultados ensayo de adherencia a ladrillos elaborados.	112
Tabla 5.9. Costos de inversiones del proyecto a 10 años.	114
Tabla 5.10. Costos de variables de producción.	114
Tabla 5.11. Valores unitarios de los ladrillos.	115

Resumen

En los últimos años el aumento del mercado automotriz ha traído consigo consecuencias negativas al medio ambiente que se acrecientan en forma descontrolada: los neumáticos fuera de uso y la forma como se desechan.

Es por ello que se ha visto en la necesidad de buscar efectivos métodos de reciclaje. Mediante diversos estudios y experiencias se ha determinado que los neumáticos se pueden reutilizar, entre las aplicaciones propuestas están: su uso en asfaltos, como fuente de energía, pavimentos, recubrimiento en barreras de contención de carreteras y como membrana aislante entre otros.

A pesar de los descubrimientos, este residuo se continúa acumulando en los vertederos de nuestro país, lo que hace necesario generar más propuestas que impliquen reciclar. A razón de esto, reconociendo que el desecho y tratamiento de los neumáticos se ha tornado en una problemática de impacto ambiental, se formuló el objetivo general: Determinar la factibilidad del empleo de caucho reciclado en la fabricación de ladrillos de hormigón para albañilería reforzada.

Para llevar a cabo la investigación el proceso fue dividido en dos etapas, en la primera de ellas se analizó el hormigón con caucho reciclado de NFU teniendo como variables independientes la cantidad de caucho a sustituir y la dosis de cemento a utilizar, de este análisis resultó ser la mezcla con un 20% de caucho y con una dosis de cemento de 240 Kg/m³ la más conveniente para la elaboración del ladrillo.

Luego en la segunda etapa se comprobó la factibilidad del ladrillo sometiéndolo a ensayos de compresión, adherencia de cizalle, absorción de agua y de succión, además se comparó a un ladrillo cerámico artesanal, donde se obtuvieron favorables resultados.

Finalmente comprobada la factibilidad del ladrillo elaborado se procede a realizar un análisis de costo unitario, donde se deduce que a pesar de superar el precio del ladrillo artesanal por unidad, al momento de su utilización se disminuyen los costos debido a que posee una altura mayor a la del ladrillo cerámico lo que termina significando una reducción en la cantidad de ladrillos a utilizar.

Palabras claves: Neumáticos reciclados fuera de uso, caucho, hormigón, ladrillo artesanal.

Abstract

In the last years the automotive industry has been increased bringing negatives environmental consequences that grow in an uncontrolled way: the unused tires and the way to discard it.

For this reason has been looking an effective method to recycle it. Through many studies and experiences has determined that the old tires can be reused, between the proposals applications are: asphalt uses, energy sources, pavements, cover of containing walls and like insulating membrane.

Although the discoveries, this residue continues accumulating in the landfills from our country, making necessary generate more proposals that involve recycling. A reason for this, recognizing that the disposal and treatment of tires has become a problematic environmental impact, was formulated the general objective: determinate the feasibility of using recycled rubber in the manufacture of reinforced concrete brick masonry.

To lead the investigation on, the process was divided in two stages, in the first was analyzing concrete with recycled rubber from NFU having like independent variables the amount of rubber to replace and dose of cement to be used, this analysis resulted be mixed with 20% of rubber cement with a dose of 240 Kg / m³ most suitable for the development of the brick.

Then in the second stage it was found the feasibility from the brick subjected to compression test, shear adhesion, water absorption and suction, additionally it was compared to a traditional ceramic brick getting favorable results.

Finally proven the feasibility from the developed brick, proceed to an analysis of unit costs where it follows that although the concrete brick have a little higher cost unit than a ceramic brick, at the moment of his utilization have a lower cost because it has a height greater than a ceramic brick which ends meaning a reduction in the amount of bricks to use.

Keywords: Recycled tires out of use, rubber, concrete, handmade bricks.

1. Presentación del Tema

1.1. Introducción

En los últimos tiempos los neumáticos se han convertido en un elemento indispensable para nuestra sociedad, donde su eliminación una vez utilizados ha recibido gran atención debido al volumen que se genera, es cierto que en principio los neumáticos usados no generan ningún peligro inmediato pero su eliminación de manera inapropiada o su producción en grandes cantidades, puede contaminar gravemente el medioambiente u ocasionar problemas a la hora de eliminarlos. No en vano, los neumáticos han sido diseñados para resistir condiciones mecánicas y meteorológicas duras -son resistentes al ozono, la luz y las bacterias- lo que les hace prácticamente indestructibles por el paso del tiempo. Su almacenamiento en el vertedero no permite recuperar ni energía ni materia.

Se ha determinado que existen diversas vías para que el caucho reciclado de neumáticos sea un material útil que armonice con el medio ambiente, este puede ser utilizado en capas asfálticas que se usan en la construcción de carreteras, alfombras, aislantes de vehículos, losetas de goma, materiales de fabricación de tejado, cubiertas, aislantes de vibración, en campos de juego y suelos de atletismo. Sus utilidades crecen cada día.

Además se han desarrollado variadas investigaciones incorporando caucho reciclado de los neumáticos fuera de uso en el hormigón debido al alto crecimiento de su utilización en el sector de la construcción en los últimos años, se determinó que este necesita modificar algunas propiedades como resistencia tensil, dureza, ductilidad y durabilidad, se llegó a la conclusión que la adición de caucho en el hormigón aportaba en su durabilidad y elasticidad, por lo cual puede ser utilizado para absorber impacto en construcción de elementos viales, edificaciones sísmo resistentes, aporta propiedades para lograr un material aislante térmico y acústico entre otras (López, Sandoval, 2012).

Algunas de estas propiedades serían de gran aporte en la fabricación de viviendas de albañilerías reforzadas ya que estas poseen deficiencia en la aislación acústico como en la aislación térmica, por lo tanto en este proyecto se buscara innovar en la construcción creando un ladrillo de hormigón con neumáticos reciclados para albañilerías reforzadas, para llevarlo a cabo se efectuará una comparación entre el ladrillo creado y un ladrillo cerámico realizando los ensayos de acuerdo a las correspondientes normas chilenas para comprobar su factibilidad.

1.2. Justificación del tema

A través del tiempo la necesidad en los seres humanos de protegerse contra los elementos hostiles, que afectan el desarrollo de la vida cotidiana, ha sido un problema permanente con el que se ha tenido que enfrentar la humanidad, desde sus orígenes. Sin embargo, antes se consideraba que el aislamiento no era un problema importante, es decir no afectaba el desenvolvimiento cotidiano, sin embargo, señalo que probablemente, ningún tema había sido tan descuidado, en nuestra era técnica, como el adecuado aislamiento de los edificios. No obstante, es difícil encontrar una mayor exigencia primaria en los seres humanos, que la necesidad de mantenerse cálidos en invierno y frescos en verano.

La vivienda está sometida a altas y bajas temperaturas al igual que nuestro cuerpo. La manera natural de mantener el calor en el cuerpo es abrigándose. En construcción, esta protección está dada por la incorporación de la aislación térmica. El uso eficiente de la energía en construcción es un importante ahorro de energía que beneficia a la economía en general, reduce los costos de las familias para mantener las condiciones de confort de la vivienda y disminuye las emisiones de gases que producen efecto invernadero (Oghievski, 2005) resulta necesario promover la construcción de viviendas, que además de seguras y durables, generen un hábitat sano y confortable con bajo consumo de energía.

Una buena aislación térmica impide que haya flujo de calor hacia el exterior de la vivienda cuando esta calefaccionada (invierno) y asimismo detiene el flujo hacia el interior cuando hay temperaturas altas (verano), otorgando mayor confort a sus habitantes (Verdugo, 2012).

El aislamiento acústico es otro de los problemas que en la actualidad se plantea en la edificación de calidad. Las fuentes de ruido son cada vez más numerosas y emiten niveles más altos. Por ejemplo, el tráfico se ha incrementado notablemente en los últimos años aumentando el nivel de ruido en fachada de las distintas edificaciones, los niveles dentro de las viviendas han aumentado por el incremento del número de fuentes y otros motivos, tal y como se relata en estudios de la Organización Mundial de la Salud (Organización Mundial de la Salud, 1999).

Al mismo tiempo se han ido incrementando las exigencias de confort del ciudadano, como se justifica con diferentes trabajos de investigación donde se observa la gran dispersión en los resultados de las mismas soluciones constructivas (Price, 2008).

Esto ha llevado en parte a un gran desarrollo legislativo en los últimos años, donde a nivel internacional, diferentes países han publicado distintas normativas para disminuir el ruido en la edificación (MINVU 2007). Toda esta normativa busca disminuir el nivel de ruido en diferentes hábitats, como los de vivienda y trabajo, para reducir el efecto del ruido en la salud de las personas.

Datos entregados por la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA, 2008) afirman que "La elevada tasa de crecimiento de la vivienda, la limitada calidad de las mismas, la escasez de áreas verdes y la estrechez de las calles, tienen como consecuencia niveles de ruido tanto externos como internos, excesivos para la población".

Como ya había mencionado uno de los principales causantes del incremento del ruido ambiental son los medios de transporte, especialmente los transportes de superficie y en particular los automóviles, dada su ubicuidad. El tráfico aéreo y ferroviario y los ruidos producidos por la actividad industrial constituyen así mismo, importantes fuentes de ruido en las grandes concentraciones urbanas. La industria automotriz, origen de una de las principales fuentes de ruido ambiental, juega un papel fundamental dentro del desarrollo industrial económico como cualquier otra actividad industrial, se enfrenta además al problema añadido del continuo incremento de la producción de residuos. En las últimas dos décadas el volumen y la toxicidad de dichos residuos han aumentado dramáticamente. Uno de los residuos más problemáticos, los neumáticos fuera de uso, procede precisamente de esta industria (López, 2008).

Los neumáticos desechados han recibido gran atención en los últimos años debido al gran volumen que se genera y a su dificultad para eliminarlos y/o reutilizarlos. La disponibilidad de neumáticos desechados en Chile, es del orden de las 60.000 toneladas anuales. Se determinó que cerca del 30% de los neumáticos desechados en las regiones Metropolitana, V, VI, VII y VIII son posibles de ser efectivamente recolectados (Quezada-Covarrubias, 2001).

Existen diversas vías para que el caucho recuperado sea útil (Hernández-Olivares, 2002). Sin embargo, para que armonicen con el ambiente, los desechos de caucho deben ser convertidos a una forma óptima para su mejor utilización. Existen diferentes métodos o vías de disposición de los desechos de caucho, el reciclaje aparece como la mejor solución para la disposición del caucho de desecho, debido a sus ventajas económicas y ecológicas.

El Instituto de Acústica del CSIC ha desarrollado un proyecto para la utilización de estos materiales en el aislamiento acústico. El interés en la utilización de un material como el caucho procedente de los neumáticos de desecho para material absorbente acústico se centra en que requiere, en principio, solo tratamientos mecánicos de mecanizado y molienda. Estos tratamientos conducen a un producto de granulometría y dosificación acorde con las características de absorción acústica de gran efectividad.

Además de las propiedades acústicas tras otros estudios realizados se determinó que el nuevo producto se caracteriza por su buena resistencia a la temperatura; encontramos por una parte una resistencia al calor clasificada de regular a buena y la resistencia al frío como muy buena. Teniendo en cuenta que el uso que se le va a dar al material en este caso es el de aislante en edificios o construcciones, cubre perfectamente las temperaturas a las que normalmente debe exponerse (Paneles aislantes de aglomerado de caucho, universidad Jaume I), ya conocemos que el caucho posee propiedades térmicas como acústicas.

En marzo de 2000 entro en vigencia la primera etapa de la reglamentación de aislación de edificación en Chile. Esta iniciativa fue impulsada por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo como parte de una política orientada en mejorar la calidad de vida de la población, debido a que en nuestro país existe deficiente aislación en gran parte de las viviendas.

Cada año, alrededor de 100.000 viviendas se construyen en Chile. Más del 60% de estas casas se construyen con muros de albañilería de ladrillo.

La construcción en albañilería de ladrillos de cerámica y de hormigón no se encuentran preparadas tecnológicamente para enfrentar una reglamentación térmica (Bustamante, A. Bobadilla, B. Navarrete, G. Saelzer, S. Vidal, 2005). Los estándares de calidad aislante de muros de este tipo de construcción en el país son insuficientes para atender las exigencias reglamentarias en gran parte del territorio nacional, situación que afecta en Chile actualmente la competitividad de la industria del ladrillo y del cemento (Andrade, 2005). La industria de la construcción en Chile deberá resolver el desafío de modificar los sistemas constructivos, la modificación propuesta por esta investigación consiste en agregar a los ladrillos de hormigón en su interior caucho sintético el cual posee propiedades térmicas y acústicas como se mencionó con anterioridad.

La (Chur, 2010) señala que en la búsqueda de nuevas alternativas y tecnologías que son fundamentales para satisfacer la demanda de vivienda de los sectores con menos ingresos, no hay que descuidar los aspectos de seguridad y comodidad. La elaboración de ladrillos térmicos ecológicos responde a las estas necesidades de un mejor aprovechamiento energético con las disminución del gasto energético y el impacto ambiental. Por otra parte, mediante el ahorro de combustibles se ayuda al cuidado del medio ambiente, disminuyéndose el uso de energías fósiles para las estufas u otros aparatos (Verdugo, 2012).

1.3. Objetivos

El objetivo en el cual se basa esta investigación es proponer la creación de un ladrillo que cumpla con ciertas prestaciones energéticas a satisfacer, debido a la inclusión de caucho proveniente de neumáticos reciclados y así proceder a un análisis, sometiéndolo a diferentes tipos de ensayos indicados por la normativa referente al tema vigente en el país, midiendo las propiedades mecánicas. Luego se realizara una comparación entre un ladrillo macizo de arcilla versus el ladrillo creado, para así poder cuantificar las ganancias que se presenten en sus propiedades.

1.3.1. Objetivo general

- Determinar la factibilidad del empleo de caucho reciclado en la fabricación de ladrillos de hormigón para albañilería reforzada.

1.3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar el comportamiento mecánico del ladrillo de hormigón con caucho reciclado en base a las normas chilenas correspondientes.
- Establecer una comparación del comportamiento de un ladrillo con adición de caucho y el comportamiento de un ladrillo cerámico.
- Elaborar un análisis económico del ladrillo con caucho reciclado.

1.4. Hipótesis

El producto creado correspondiente a un ladrillo de hormigón con caucho reciclado como material de construcción para albañilería reforzada cumple con los requisitos de la NCh 2123 Of. 97 Anexo B.

1.5. Alcances

- Los ladrillos serán confeccionados en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Valparaíso.
- Los ladrillos se confeccionarán de cemento corriente a temperaturas normales y áridos de tamaño máximo 12,5 mm.
- Se realizará un estudio de ladrillos con la adición de caucho reciclado de su comportamiento mecánico según las normas chilenas para comprobar su factibilidad.
- Todas las mediciones serán realizadas por equipos presentes en el laboratorio de la Universidad de Valparaíso.
- Todos los ladrillos tendrán las mismas dimensiones de un ladrillo fiscal 29x14x7 cms.

1.6. Estudios y usos en la actualidad

Mediante diversos estudios se ha determinado que el caucho como materia prima tiene propiedades útiles para ser utilizado en la construcción entre algunas de ellas cabe destacar su buena durabilidad, elasticidad, es capaz de absorber impactos, es un buen absorbente acústico y posee una buena resistencia a las variaciones de temperatura.

Los neumáticos fuera de uso en la actualidad son recogidos de los vertederos y son llevados a centros de tratamientos donde se seleccionan los que pueden ser reutilizados, estos son sometidos a procesos mecánicos de trituración y/o de granulado dependiendo de lo que sea necesario limpios y libres de impurezas, ya que durante el proceso del granulado se separan los componentes básicos del neumáticos, el caucho, el acero y fibras, lo cual permite que puedan ser utilizados en nuevos procesos y aplicaciones como materia prima.

Las fracciones procedentes del triturado del neumático en la actualidad tienen las siguientes utilidades:

- Los triturados en forma de polvo de caucho, es decir, en tamaños comprendidos entre 0,5 mm y 1 mm, se utilizan como elementos constituyentes de mezclas bituminosas para pavimentos de carreteras. Todos estos usos se consideran como la valorización material de estos residuos.
- Los granulados de tamaños comprendidos entre 1 mm y 10 mm, tienen diversas aplicaciones, tales como materiales granulares de la base del césped artificial para campos de deportes, para la fabricación de elementos de protección de carreteras, en particular como revestimientos de las barreras “bionda”, para superficies de parques de juegos infantiles, para la fabricación de baldosas para pavimentos sometidos a gran desgaste, etc.
- Combustible en plantas de fabricación de cementos y centrales de generación de energía y plantas de incineración de otros residuos.

- Los neumáticos granulados se utilizan para la protección de las láminas geotextiles de aislamiento de los vertederos, para el aislamiento frente al agua de las edificaciones y como aislante termo-acústico para viviendas.



Figura 1.1. Usos del Caucho Reciclado.

(Fuente: Elaboración Propia)

1.7. Programa experimental

Para comenzar el proyecto en el programa experimental se encontrará la metodología de la investigación la cual corresponde a una descripción detallada de los pasos y procesos a seguir para lograr el producto deseado, luego se realiza la descripción del material escogido para favorecer las propiedades del ladrillo, donde la idea es innovar y finalmente se describirán los ensayos que se realizarán de acuerdo a las normas chilenas para verificar que cumpla con los requerimientos mínimos para ser utilizado en construcciones de albañilería reforzada.

1.7.1. Metodología de trabajo

Para estructurar el estudio de la factibilidad del empleo de caucho reciclado en la fabricación de ladrillos para albañilería reforzada, se desglosara en los siguientes puntos según el esquema metodológico a seguir del proyecto:

- Idea preliminar.
- Planteamiento del objetivo general y objetivos específicos.
- Planteamiento del marco teórico: a través de estudio bibliográfico de normas y estudios acerca de la utilización de los neumáticos fuera de uso en materiales de construcción.
- Seleccionar la dosificación de hormigón con caucho reciclado de neumáticos reciclados; se consideraran algunas alternativas para seleccionar luego la que se estime más conveniente.
- Determinar los tipos de ensayos y requerimientos exigidos por las normas chilenas.
- Evaluar la fabricación de los ladrillos con caucho reciclado para albañilería reforzada.
- Elaborar el ladrillo según los requerimientos básicos para su construcción según las normas chilenas.
- Elaboración de ladrillos con diferentes porcentajes de caucho reciclado para su continuo análisis.
- La información obtenida en los ensayos de los ladrillos con caucho reciclado se comparará con los datos de ensayos realizados a un ladrillo fiscal.
- Se planteará una metodología a seguir según los resultados obtenidos en los ensayos
- Finalmente en respuesta a la aplicación de la metodología propuesta, se llevaran a cabo las acciones y conclusiones sobre el tema propuesto.

1.7.2. Esquema de la metodología de la investigación

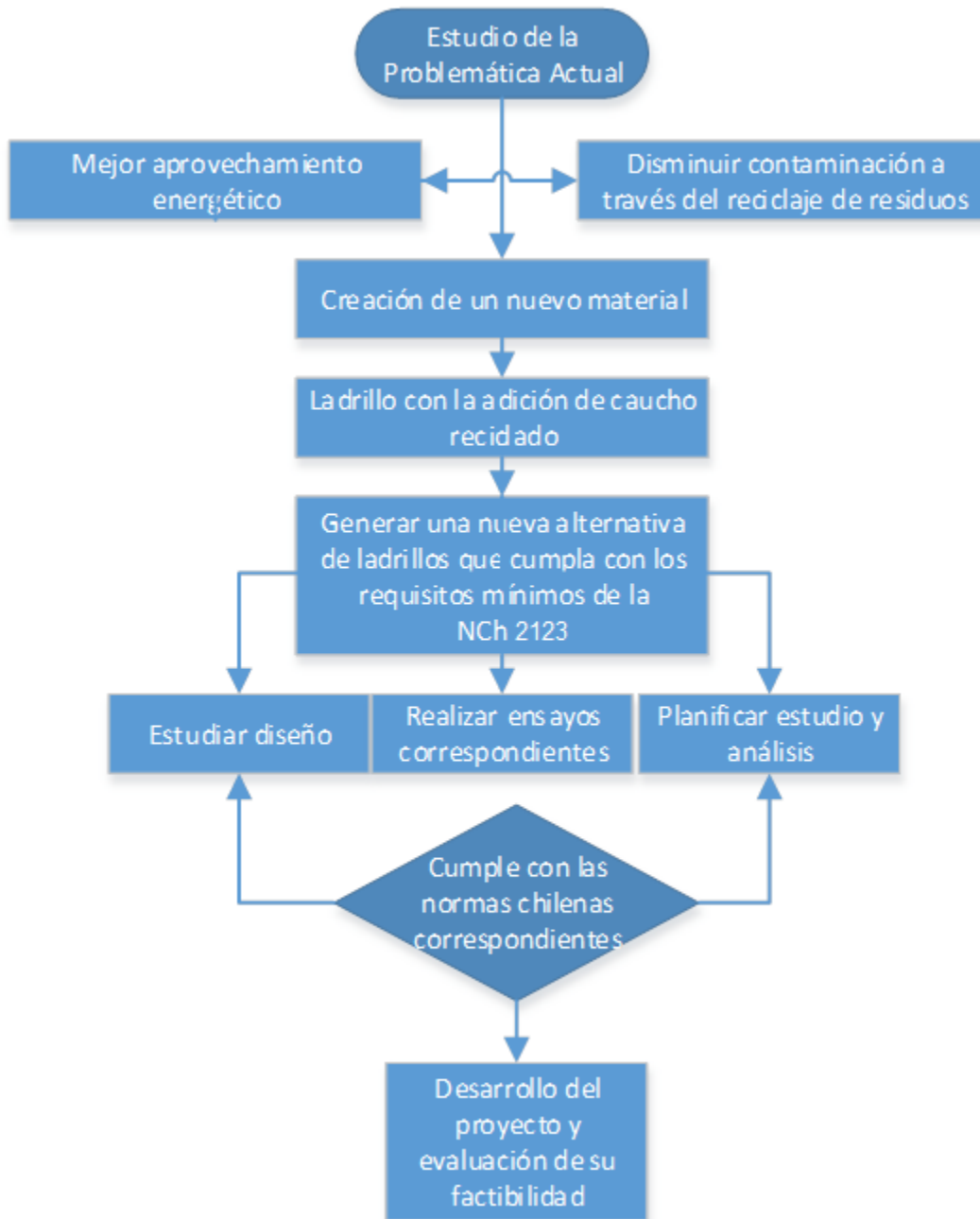


Figura 1.2. Metodología de trabajo.

(Fuente: Elaboración Propia)

1.8. Selección de materiales

El ladrillo fue realizado con hormigón donde las dosificaciones de sus componentes fueron de acuerdo a las normas chilenas, para innovar en el producto se le incorporo caucho reciclado el cual posee propiedades que pueden ser un aporte para la construcción.

En Chile hace un tiempo el Ministerio de Economía junto al Consejo Nacional de Producción Limpia y la empresa Polambiente, decidieron comenzar con el reciclaje, donde se observó que utilizar los neumáticos fuera de uso requieren de una trituración previa hasta el tamaño adecuado al uso específico que se le vaya a dar.

Este proceso normalmente se realiza a través de trituradoras formadas por dos o más ejes paralelos de cuchillas que giran a distintas velocidades para favorecer la incorporación del neumático. La separación de los ejes define el tamaño de los trozos conseguidos, para este proyecto se realizó una dosificación mezclando los siguientes tamaños de gránulos de caucho:

- Polvo (menor a 1 mm) generalmente es utilizado en mezclas de asfalto con caucho.
- Gránulos Fino (1 a 2,5 mm) se utiliza en canchas de césped sintético, pistas atléticas, pisos insitu o continuo, tapetes para pisos, moldeados entre otros.
- Gránulos Medio (2,5 a 3,5 mm) sus utilidades son las mismas del granulo fino.
- Gránulos Grueso (3,5 a 5 mm) se utiliza como relleno, barreras acústicas, drenaje, energía, aplicaciones en vertederos, aislante térmico y auditivo entre otros.



Figura 1.3. Neumáticos Reciclados Triturados.

(Fuente: Portal de ingenieros españoles)

1.9. Factibilidad de la investigación

1.9.1. Factibilidad medio-ambiental

Al reutilizar los neumáticos desechados se evitan daños ambientales asociados a su depósito en vertederos, fundamentalmente debido a la dificultad de ser compactados, ocupando un gran volumen en los vertederos, su forma permite anidar vectores biológicos (roedores, insectos, etc.) y pueden ser un material combustibles, con una gran tenacidad en el incendio lo que hace muy difícil la extinción. Por lo tanto el recoger estos residuos tiene como objetivo posibilitar el reciclaje de calidad de los materiales y componentes que lo conforman, hecho que comporta un ahorro de energía al producir nuevos productos con un material que era considerado como desecho.

1.9.2. Factibilidad económica

Los costos de esta investigación no se ven afectados al utilizar el caucho ya que puede ser recaudado por donaciones o recolección de neumáticos en desuso en vertederos y realizar un triturado manual, en el caso que se tuviese que proceder a la compra de ellos se trata de un material de bajos costos ya que requiere de pocos procesos.

1.9.3. Factibilidad técnica

Los laboratorios de la Universidad de Valparaíso cuentan con los implementos necesarios para realizar los ensayos correspondientes a los ladrillos de caucho reciclado, los ensayos a realizar corresponden a resistencia a la compresión, absorción de agua, adherencia de cizalle y succión según la Nch 167 Of. 2001.

1.10. Producto y aporte esperado

En presente proyecto se busca innovar en ladrillos para albañilería reforzada incorporando un material reciclado, el caucho de los neumáticos, el cual podrá aportar positivas propiedades como lo son la aislación térmica y acústica, además la resistencia sísmica entre otras cosas que se descubrirán a medida que se avanza con la elaboración y evaluación del nuevo material.

Junto a esto la investigación tiene como finalidad encontrar una utilización factible de los neumáticos fuera de uso ya que en nuestro país son desechados en grandes cantidades teniendo una relación desfavorable para la reutilización debido a que la mayoría termina siendo finalmente un desecho.

Por lo tanto la finalidad es buscar un producto certificado como aporte al cuidado del medio ambiente, debido a la utilización de residuos y además de otorgar un mejor aprovechamiento energético de las viviendas, el cual pueda ser normado para su futura utilización contribuyendo al programa de eficiencia energética.

2. Marco Teórico

2.1. Generalidades de la albañilería

La albañilería consiste en la construcción de edificaciones u otras obras mediante unidades ordenadas en hiladas según un aparejo prefijado y unidos con mortero (Nch 1928) empleando según los casos, adobe, piedra, ladrillos, bloques de mortero de cemento, hormigón, entre otros. Dentro de la albañilería se distinguen distintos tipos, está la albañilería armada es aquella que lleva incorporados refuerzos de barras de acero en los huecos verticales y en las juntas o huecos horizontales de las unidades, la albañilería semi-armada que lleva incorporado refuerzos de barras de acero en los huecos verticales y/o en las juntas o huecos horizontales de las unidades, no cumple con los requisitos mínimo de esfuerzo de una albañilería armada y la albañilería confinada que está enmarcada por pilares y cadenas de hormigón armado (NCh 2123), también se le denomina albañilería reforzada (Holmberg - Araneda, 2007).

En Chile las construcciones de albañilería confinada han sido muy utilizadas desde mediados del siglo pasado, hoy en día más del 60% de la edificación de casas se construye con ladrillos (ICH 2010). Este tipo de edificación constituye una buena alternativa de solución al problema de la vivienda por ser relativamente económico y además constituir una forma tradicional de construcción, es utilizado para viviendas del tipo unifamiliar de uno o dos pisos y de edificios del tipo multifamiliar de baja altura, no más de cuatro pisos.

Sin embargo, la albañilería es un material cuyo conocimiento no se encuentra a la altura del desarrollo que se encuentran otros materiales tradicionales usados en la construcción de edificios. Este déficit se manifiesta en temas relacionados tanto con la tecnología del material como con el diseño estructural de los elementos que forman la estructura resistente de un edificio de albañilería (Astroza, 2008). La causa de este problema debe ser que la albañilería en los últimos 60 años se ha utilizado como preferencia en países en desarrollo donde los recursos asignados para realizar investigaciones experimentales son escasos.

La construcción de ladrillos para ser utilizados en obras albañilería confinada debe cumplir con la normativa chilena, los ladrillos industriales deben ser de los grados 1° 2 y clase MqP o MqHv, además cumplir con los requisitos de resistencia ya sea a la compresión, adherencia y absorción indicados en la Nch 169 Of. 2001.

2.2. Albañilería reforzada o confinada

La albañilería reforzada es la técnica de construcción que se emplea normalmente para la edificación de una vivienda, en este tipo de construcción se utilizan ladrillos o bloques, columnas de amarre, vigas soleras, etc. (Medina - Blanco 2011)

El confinamiento se logra a cuando los pilares y cadenas enmarcan completamente el paño de albañilería, proporcionando capacidad de deformación lateral y de disipación de energía una vez que se agrieta el paño, el elemento de confinamiento vertical es el pilar y el elemento de confinamiento horizontal es la cadena. Para la construcción de una albañilería confinada se deben cumplir los siguientes detalles (Gallegos, 1989):

- Se parte construyendo el paño de albañilería dejando los bordes verticales “endentados”, para luego rellenar con hormigón de los elementos de confinamiento (pilares y cadenas).
- Los elementos de confinamiento no se deben interrumpir
- Los paños de albañilería deben poseer una forma aproximadamente cuadrados, en caso que sea necesario se construyen pilares intermedios.
- Los paños de albañilería no deben presentar fallas de aplastamiento por compresión. Por lo tanto es recomendable utilizar unidades macizas o con menos de un 30% de perforaciones.

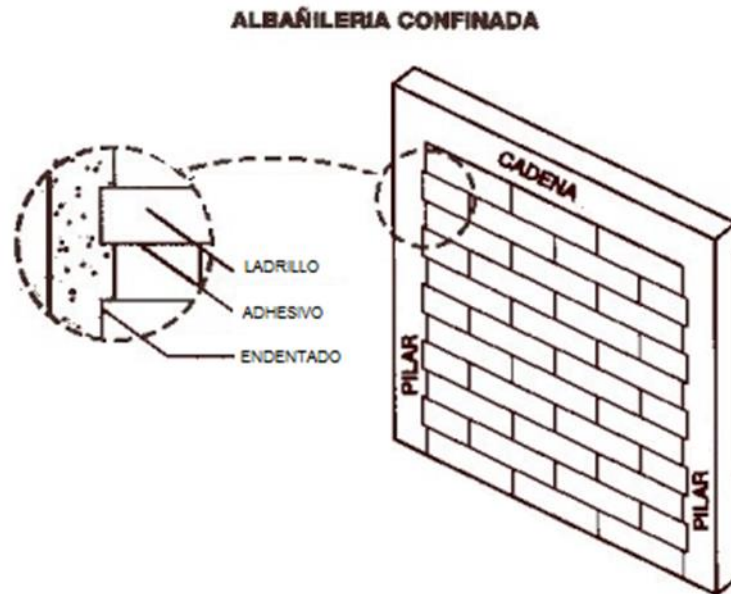


Figura 2.1. Albañilería Confinada.

(Fuente: Blog Tecnología Obras Civiles)

En la albañilería reforzada los pilares y las cadenas no aumentan la capacidad resistente al corte de los muros de albañilería, solo sirven para aumentar la capacidad de deformación inelástica cuando ocurre una falla por corte una vez que se produce el agrietamiento diagonal del muro (INN, 1997).

En Chile una larga historia de albañilería confinada alberga en sus ciudades, construcciones realizadas a principios de las civilizaciones, que han demostrado excelente comportamiento estructural. Hoy en día este tipo de construcción sigue siendo muy utilizada por su buen desempeño observado en viviendas (Moya, 2002).

Además cabe recalcar que es un método de construcción económico y que su ejecución no requiere de una inspección especializada como lo es en el caso de las albañilerías armadas (Astroza – Schmidt, 2004).

2.3. Ladrillos

Son de los productos de construcción más antiguos en el mundo, estos se consideraban la opción más adecuada para construir las primeras viviendas, templos, monumentos, entre otros, donde algunos han durado hasta hoy en día.

En un comienzo eran fabricados de manera artesanal y aunque hoy en día se continúa utilizando esta técnica en algunos talleres, en la actualidad se derivó su fabricación también a través de ciclos productivos industriales, los cuales son adecuadamente eficaces para la construcción.

Los ladrillos están morfológicamente definidos como un paralelepípedo rectangular, donde existen variados tipos que permiten su uso según las solicitudes de la construcción debido a sus dimensiones, un albañil tiene la capacidad de colocar un ladrillo utilizando sólo una mano.

Los más populares durante mucho tiempo fueron los ladrillos artesanales, toscos y rugosos, además de estos se pueden encontrar perforados, macizos, entre otros, ya que hoy en día estos siguen variando ya sea en su forma como en la materia prima utilizada para su elaboración además de la arcilla que fue el primer elemento utilizado para hacer ladrillos se utiliza hormigón, mortero, cáñamo o arena con cal, vidrio, entre otros (Fernández, 2014).

2.3.1. Situación normativa del ladrillo en Chile

Las características de los ladrillos deben cumplir con una serie de normas reguladas en nuestro país, entre ellas se pueden identificar las siguientes:

- e) NCh167 Of. 2001: Construcción - Ladrillos cerámicos – Ensayos.
- f) NCh168 Of. 2001: Ladrillos cerámicos - Comprobación de forma y dimensiones.
- g) NCh169 Of. 2001: Ladrillos cerámicos - Clasificación y requisitos.
- h) NCh2123 Of. 97 Mod. 2003: Albañilería confinada - Requisitos para el diseño y cálculo.

Gracias al cumplimiento de estas normas podemos afirmar que el ladrillo puede ser utilizado en construcciones de albañilería ya que estaría cumpliendo con los esfuerzos mecánicos como con las dimensiones geométricas entre otras características.

2.3.2. Tipos de ladrillos cerámicos

Los ladrillos cerámicos son formados a partir de arcilla amasada, secada y cocida. Se diferencian por el proceso de elaboración, los cuales son los siguientes:

a) Ladrillos cerámicos fabricados a máquina (Tipo 1):

Este proceso se caracteriza por la elaboración de los ladrillos mediante procesos industriales, es decir mediante maquinarias que son las encargadas de amasar, moldear y prensar la pasta para lograr un ladrillo.

b) Ladrillos cerámicos fabricados a mano (Tipo 2):

Este sistema fue creado hace siglos y consiste en la producción de ladrillos por medios artesanales, el amasado es a mano o con una maquinaria elemental.

2.4. Clases de ladrillos cerámicos

Como se menciona anteriormente los ladrillos en Chile deben cumplir con requisitos establecidos en las normas, su clasificación según clases se encuentra en la norma NCh 169 Of.2001 y consiste en clasificar los ladrillos según sus características estructurales en las clases, utilizando las siguientes nomenclaturas:

- Mq = Ladrillo hecho a Máquina
- Mn = Ladrillo hecho a mano

a) Ladrillos Macizos MqM:

Son ladrillos sin perforaciones, en nuestro país generalmente no se realizan en forma industrializada, son ladrillos del tipo 1.



Figura 2.2. Ladrillo Macizo MqM.

(Fuente: Marzua Diseño)

b) Ladrillos Huecos MqH:

Son unidades cerámicas que pueden ser elaboradas a máquina o por procesos industrializados en los cuales predomina el volumen de los huecos por sobre el de arcilla. Se utilizan principalmente en la confección de tabiques divisorios livianos que no reciben cargas y no son estructurales, son ladrillos del Tipo 1.

Los ladrillos de esta clase pueden ser:

- i. MqHh: ladrillos con huecos horizontales, tienen huecos paralelos a la cara de apoyo del ladrillo.
- ii. MqHv: ladrillos con huecos verticales; estos tienen huecos dispuestos perpendicularmente a la cara de apoyo del ladrillo.

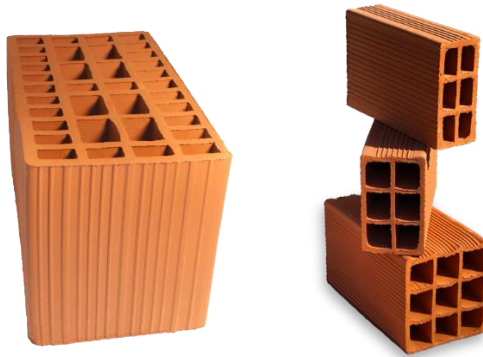


Figura 2.3. Ladrillo con huecos verticales y horizontales MqH.

(Fuente: Manual del albañil)

c) Ladrillos Perforados MqP:

Los ladrillos perforados son aquellos hechos a máquina o por medios industrializados poseen perforaciones y huecos, regularmente distribuidos, cuyo volumen es menor al 50% del volumen total de arcilla. Hoy en día son los más utilizados en nuestro país para la fabricación de albañilerías armadas o confinadas, son ladrillos del Tipo1 (ICH, 2010).

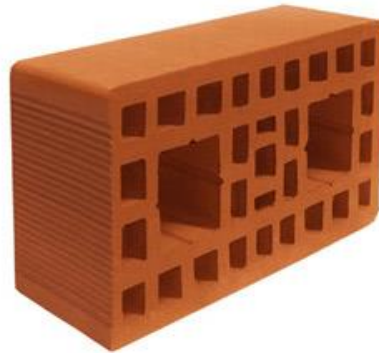


Figura 2.4. Ladrillo perforado MqP.

(Fuente: Manual del albañil)

d) Ladrillos hechos a mano (MnM):

Estos son solo macizos en la totalidad de su masa, no poseen perforaciones, ni huecos y poseen a los ladrillos del Tipo 2.

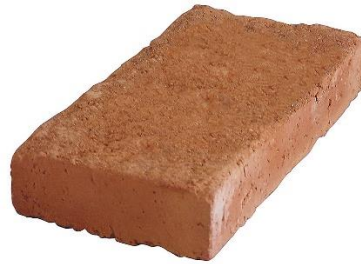


Figura 2.5. Ladrillo hecho a mano MnM.

(Fuente: Manual del albañil)

2.5. Grados de los ladrillos cerámicos

En la norma chilena NCh 169 Of.2001 además de especificar las clases de los ladrillos cerámicos nos muestra los diferentes grados que se clasifican, según el valor de resistencia a compresión, absorción de agua y adherencia, además cabe indicar que todos deben cumplir con los requisitos establecidos en la norma NCh 168 Of.2001.

Los grados de ladrillos cerámicos son los siguientes:

- **Grado 1**

Corresponde a los ladrillos de resistencia y durabilidad alta, son considerados aptos para un buen desempeño en condiciones de servicio extremas. Para albañilería armada se exigen ladrillos de grado 1 o 2 (NCh 1928 Of.1993 Modif. 2003).

Tabla 2.1. Grado 1 de los ladrillos.

Requisitos Mecánicos		Grado 1		
		MqM	MqP	MqH
Resistencia mínima a la Compresión	MPa	15	15	15
Absorción máxima de Agua	%	14	14	14
Adherencia Mínima (área neta)	MPa	0,4	0,4	0,4

(Fuente: Nch 169 Of. 2001)

- **Grado 2**

Estos son de resistencia y durabilidad moderadas, en general se consideran aptos para un desempeño adecuado en condiciones normales.

Tabla 2.2. Grado 2 de los ladrillos.

Requisitos Mecánicos		Grado	
		MqM	MqH
Resistencia mínima a la Compresión	MPa	11	11
Absorción máxima de Agua	%	16	16
Adherencia Mínima (área neta)	MPa	0,35	0,35

(Fuente: Nch 169 Of. 2001)

- **Grado 3**

Corresponde a los ladrillos de resistencia y durabilidad regular, en general se consideran aptos para un desempeño aceptable en condiciones de servicio normales. Estos son utilizados en albañilería confinada (NCh 2123 Of.1997 Modif. 2003).

Tabla 2.3. Grado 3 de los ladrillos.

Requisitos Mecánicos		Grado	
		MqP	MqH
Resistencia mínima a la Compresión	MPa	5	5
Absorción máxima de Agua	%	18	18
Adherencia Mínima (área neta)	MPa	0,30	0,30

(Fuente: Nch 169 Of. 2001)

- **Grado 4**

Son de resistencia y durabilidad baja, en general se consideran aptos sólo para desempeño satisfactorio en condiciones de servicio de exigencias mínimas o sin exigencias.

2.6. Materiales utilizados en la fabricación de albañilería reforzada

A lo largo del tiempo para fabricaciones de albañilería confinada la arcilla ha sido el material más utilizado debido a su economía (Kuroiwa – Salas, 2009), con el fin de innovar se creó un ladrillo de hormigón el cual tiene la característica que se incorporó caucho en un interior como solución energética, dando la oportunidad de reutilizar un material que es considerado como desecho y posee poca valorización en nuestro país respecto al aporte de sus propiedades.

Estos ladrillos deben ir adheridos entre sí, para esto se utiliza como aglomerante un mortero de pega. A continuación se realizara un análisis del material más utilizado en la fabricación del ladrillo, mortero de pega, hormigón y de los neumáticos reciclados, dando más énfasis en los materiales que utilice en mi proyecto.

2.7. Arcilla

El material más utilizado en la fabricación de ladrillos es la arcilla, es un suelo o roca sedimentaria que tiene la particularidad que al ser humedecida adquiere las propiedades de ser plástica y tenaz, además que al ser calcinada se endurece perfectamente tomando la forma que se desee.

Está compuesta por un grupo de minerales aluminosilicatos formados por la meteorización de las rocas feldespáticas. El grano de arcilla es de tamaño microscópico el cual se caracteriza por tener formas de escamas, esto permite que la superficie de agregación sea mucho mayor que su espesor, permitiendo un gran almacenamiento de agua por adherencia que le otorga la plasticidad al material.

La arcilla generalmente utilizada en una mezcla de caolín o arcilla china (arcilla hidratada) y de polvos finos de algunos minerales feldespáticos anhidros (sin agua) no descompuestos.

Entre las características de la arcilla se destacan que aporta la adherencia necesaria para mantener y pegar los materiales, es un material plástico a la medida que se le agrega agua, es un material moldeable se le puede dar la forma que se desee y además son refractaria, es decir que son capaces de soportar variaciones de temperatura.

2.8. Mortero de pega

El mortero de pega es una mezcla de aglutinante, material de relleno (agregado fino), agua y eventualmente aditivos que al estar endurecido presenta propiedades químicas, físicas y mecánicas similares a las del hormigón (Sánchez, 1996).

A pesar que el mortero de pega ocupa alrededor de un 15% del volumen total de un muro de mampostería (Faúndez - Luna, 2002), debe cumplir un importante papel en su funcionamiento estructural, ya que es el responsable de mantener unidas las piezas de un muro.

Este debe tener cualidades especiales distintas a las de los morteros destinados para otros usos como los de recubrimiento, ya que estará siendo sometido a condiciones especiales del sistema constructivo, deberá tener una resistencia adecuada capaz de absorber los esfuerzos causados por tensión y compresión en un muro de albañilería.

A razón de este motivo los morteros presentan una alta resistencia a la compresión, tienen buena durabilidad ante los agentes externos como lo son la baja temperatura ambiental, penetración de agua, desgaste por abrasión y agentes corrosivos.

En cuanto a la retracción de la pasta de cemento se ve aumentada cuando el mortero tiene altos contenidos de cemento, esto se logra mejorar incorporando arenas con granos de textura rugosa.

La capacidad de adherencia es un rol importante en este materia ya que es la capacidad de absorber, tensiones normales y tangenciales a la superficie que une el mortero y una estructura, es decir a la capacidad de responder monóticamente con las piezas que une ante solicitudes de carga. En el caso de la mampostería, para obtener una buena adherencia es necesario que la superficie sobre la que se va a colocar el mortero sea tan rugosa como sea posible y tenga una absorción adecuada, comparable con la del mortero.



Figura 2.6. Aplicación de mortero de pega.

(Fuente: Cemento BSA)

2.9. Hormigón

El hormigón se puede definir de forma general como una masa constituida por materiales pétreos ligados por productos aglomerantes, se comenzó a utilizar a principios de la civilización en la construcción, hoy en día siguen causando admiración algunas obras por su resistencia, magnitud, durabilidad y belleza (Zabaleta, 1992). El desarrollo histórico de la tecnología del hormigón aun no es lo suficientemente conocido porque las diversas civilizaciones antiguas han ido desapareciendo.

En la actualidad el hormigón se ha transformado en un material de gran importancia ya que es más utilizado en la industria de la construcción. Tiene la capacidad de adquirir variables dimensiones mediante la utilización de moldajes gracias a su consistencia plástica en estado fresco. Los hormigones se caracterizan por ser un material resistente a la compresión, pero frágiles y débiles a las solicitaciones de tracción.

El hormigón está constituido básicamente por un conglomerante que en la mayoría de las ocasiones es cemento, áridos, agua y eventualmente aditivos, en proporciones adecuadas para que al fraguar y endurecer adquiera resistencia (Manual del hormigón, 1988). El agregado correspondiente a los áridos es un material granular compuesto de partículas de origen pétreo de diferente tamaño, duro y estable, el objetivo de este agregado es constituir un esqueleto inerte

para el hormigón. Generalmente se integra mediante dos o más fracciones, donde cada una tiene una gama de diferentes tamaños de partículas.

Las propiedades del hormigón dependerán de las dosificaciones de la mezcla, más las condiciones de humedad y temperatura durante los procesos de fabricación y de fraguado. Para que un hormigón quede fabricado de manera adecuada cada partícula de los agregados debe estar completamente cubierta por la pasta de cemento así como también todos los espacios entre ellas. Esta calidad es influenciada de manera importante por la cantidad de agua utilizada respecto la cantidad de cemento.

2.9.1. Materias primas en la fabricación del hormigón

La norma chilena NCh170 Of.1985 define hormigón como: “Material que resulta de la mezcla de agua, arena, grava, cemento, eventualmente aditivos y adiciones en proporciones adecuadas que, al fraguar y endurecer, adquiere resistencia. Las definiciones de las materias primas son las siguientes:

a) Agua:

El agua utilizada para la fabricación de hormigones debe cumplir con la norma Nch 1498 Of.82, esta se encarga de proporcionar docilidad al hormigón en estado fresco e hidratar los componentes del cemento.

b) Áridos

Los áridos que componen el hormigón se clasifican en gruesos y finos, se especifican en la norma Nch163 Of.13, esta menciona que los áridos que pasen a lo menos el 95% por el tamiz de abertura nominal 5 milímetros serán finos en cambio los materiales que son retenidos en un 95% en el mismo tamiz serán el árido grueso. Como árido fino podemos reconocer a la arena y como árido grueso la grava. Estos constituyen gran parte del hormigón entre un 65 y 75% de su volumen, estos no deben contener materiales que puedan causar deterioros como materia orgánica, arcillas, sales, entre otros (Zabaleta, 1992). La dosificación de los áridos es de gran importancia debido a que las partículas se tienen que acomodar para obtener una buena compactación dejando los menos espacios vacíos en lo posible y así el hormigón adquiere resistencia.

c) Cemento

El cemento cumple la función de conglomerante, posee silicatos y aluminatos de calcio que al mezclarse con agua se hidratan y permiten conformar una masa pétreo, adhiriendo los áridos entre si y dando la resistencia adecuada a los esfuerzos que será sometido el hormigón.

En nuestro país el cemento más utilizado es el portland que se puede fabricar puro y con agregados puzolanicos o hidrófugos En la Nch148 Of.68 se establecen las dos clasificaciones para los cementos según su composición y su resistencia.

d) Aditivos

Son productos orgánicos e inorgánicos que introducidos en pequeñas proporciones en el momento de la fabricación del hormigón permiten modificar algunas de sus propiedades originales. Se presentan en forma de polvo, líquido o pasta y la dosis varía según el producto y el efecto deseado, respetando las indicaciones del fabricante, las dosis varían en un 0,1 y 5 % del peso del cemento. El correcto empleo de un aditivo supone no solo que se haya elegido bien, sino que este además correctamente utilizado (Venual Michael, 1972).

2.10. Propiedades del hormigón fresco

Cuando se pone en contacto el agua con el cemento corresponde al hormigón en estado fresco hasta que comienza a solidificarse. Durante este proceso se pueden presentar problemas, como la segregación que ocurre cuando no hay una adecuada distribución de las partículas en la mezcla ha causa que no se realizó una adecuada granulometría. Existen dos tipos de segregación, está la interna en este caso las partículas grandes tienden a separarse por asentamiento o cohesión o porque la pasta se separa de los agregados y la segregación externa, sucede cuando las fuerzas exteriores que actúan sobre el hormigón fresco superan las fuerzas internas de cohesión. Esto ocurre durante el transporte colocación y vibrado. El hormigón debe colocarse directamente en su posición definitiva, sin moverlo, ni dejarlo fluir sobre los encofrados, ni aplicarle vibrado prolongado. El vibrado se suspende cuando dejan de aparecer burbujas de aire en la superficie.

Otro problema que se puede presentar mientras el hormigón este en estado fresco es la exudación, ocurre cuando parte del agua de amasado tiende a ascender hacia la superficie del hormigón recién colocado, por ser el componente de menor densidad de la mezcla y a la poca capacidad de la estructura granular para retenerla. Como consecuencia de la exudación la parte superior del hormigón tendrá una relación mayor de agua cemento, porosa, débil al desgaste y al efecto de congelación.

Para que un hormigón sea capaz de evitar la segregación debe ser trabajable, esto quiere decir que en estado fresco la consistencia del hormigón debe ser una sustancia firme que tenga la suficiente capacidad para fluir, esta consistencia se interpreta a veces como el grado de humedad dentro de ciertos límites así como hormigones más húmedos son más trabajables que hormigones secos, pero dos hormigones de una misma consistencia pueden variar su trabajabilidad (Neville, 1999).

2.11. Propiedades del hormigón en estado endurecido

Luego que la pasta de cemento logra la adherencia de las partículas tenemos el hormigón solidificado, esto es un endurecimiento progresivo donde se transforma el hormigón de un material plástico a uno sólido evolucionando sus propiedades, dependiendo de los agentes exteriores, características que se deseen y componentes. Del hormigón podemos obtener:

a) Densidad aparente:

Es el peso por la unidad de volumen, esta densidad varía levemente con el tiempo, proveniente del agua de amasado hacia la atmósfera, también se puede variar artificialmente para obtener hormigones de menor densidad.

b) Resistencia:

Es de gran importancia cuando utilizaremos el hormigón como un componente de elementos de naturaleza estructural, quedando el hormigón sometido a tensiones derivadas de las sollicitaciones que actúan sobre el elemento estructural por lo que su capacidad resistente debe ser mayor con el fin de no ser sobrepasada, pudiendo esto provocar fisuras o fracturas, las que podrían llegar a afectar la seguridad de la estructura.

c) Resistencia a la compresión:

Es la capacidad que tiene el hormigón de resistir cargas por unidad de áreas especificada a los 28 días de edad. Esta se logra mediante el diseño de la mezcla y está en función de la relación agua / cemento de manera que aumenta la resistencia a la compresión si está en relación disminuye pero al modificar estos parámetros se puede ver afectada la resistencia a la flexión, tracción y adherencia.

d) Resistencia a la tracción:

Teóricamente es aproximadamente un 1/8 a 1/12 de la resistencia a compresión, es necesaria en los casos que se deseen determinar la seguridad de una posible fisura.

e) Modulo elástico:

Se define como la razón entre el esfuerzo normal a una deformación correspondiente para el esfuerzo de tensión o compresión bajo el límite de proporcionalidad del hormigón (Zabaleta, 1992). Un hormigón con mayor modulo elástico es un material más rígido y menos deformable, por el contrario con menos modulo elástico manifiesta una mayor deformación bajo acción de cargas.

f) Retracción hidráulica:

Sus variables dependen de las condiciones de humedad, derivan de las variaciones de volumen producidas en la pasta de cemento durante el proceso de fraguado y endurecimiento.

g) Durabilidad:

Es la capacidad que tiene el hormigón de resistir acciones físicas y químicas a lo largo de su vida útil. Los agentes físicos son aquellos que producen efectos de mayor importancia sobre el hormigón son los derivados de las condiciones de tipo ambiental y procesos erosivos a que pudiera estar expuesto y los agentes químicos son generados internamente en el hormigón o pueden venir de acciones agresivas externas.

2.12. Caucho reciclado de neumáticos fuera de uso

Los neumáticos para reciclaje provienen fundamentalmente de la industria automovilística, la cual aumenta su producción a medida que pasan los años, frente a esto aqueja una gran problemática - ¿Qué hacer con las toneladas eliminadas de neumático? – al no encontrar solución a esta interrogativa estamos expuestos a nocivos efectos de la contaminación ambiental, producto de quemas y acumulación de estos productos en vertederos.

Ante el grave problema ambiental generado por la enorme cantidad de neumáticos fuera de uso que son desechados por la industria nacional y cada vez mayor parque automotriz existente en nuestro país, la Cámara de la Industria del Neumático (CINC) y el Consejo de Producción Limpia (CPL) del Ministerio de Economía se unieron para trabajar en pos de mejorar el reciclaje de este producto.

A razón de esto, el año 2010 firmaron un Acuerdo de Producción Limpia para la recuperación del producto. A partir de este convenio surgió la empresa Polambiente, industria exclusiva para el reciclaje de neumáticos, es la primera y única planta de trituración de Neumáticos Fuera de Uso que existe en el país.

Laura Baxa, presidenta del Directorio de Polambiente, destacó que para concretar esta iniciativa, fue muy importante la colaboración de la Cámara de la Industria del Neumático de Chile A.G (CINC), entidad que agrupa a las cuatro firmas más importantes en la fabricación, importación y comercialización de neumáticos del país (Good Year, Bridgestone, Michelin y Pirelli), con la cual el año pasado se firmó un convenio que facilitará la logística para la recolección de los NFU.



Figura 2.7. Neumáticos en desuso enviados a Santiago desde Antofagasta.

(Municipalidad de Antofagasta)

2.13. Volumen y distribución de los neumáticos fuera de uso

En Chile hasta el 2008 se generaban alrededor de 3 millones de neumáticos fuera de uso, lo que equivale a unas 42.000 toneladas de residuo, de los cuales solo se recolectaba para reciclaje un 5%. El diagnóstico sobre la gestión de los neumáticos fuera de uso ha identificado que 2,5 millones de neumáticos provienen de vehículos livianos, generando 22 mil toneladas de residuo; 85 mil del transporte público, que corresponden a 4 mil toneladas de residuo; 300 mil neumáticos de vehículos de carga, con 14 mil toneladas de residuo; y 3 mil de vehículos agrícolas, cercano a 300 toneladas de residuo. (Consejo de Producción Limpia (CPL) y la Cámara de la Industria de Neumático de Chile (CINC)).

Hoy en día los residuos han subido a 50.000 toneladas anuales de los cuales solo se está reciclando un 23%, si se consideraran los neumáticos fuera de uso desechados por industrias mineras aumentaríamos la cifra en 32.000 toneladas más utilizadas en el norte de nuestro país sin ningún manejo sustentable (Ruz, 2014).

En la distribución geográfica de los neumáticos fuera de uso se determina que solamente en la Región Metropolitana se concentra casi un 40% de la generación nacional de estos desechos, mientras que en las regiones de la Zona Centro (Valparaíso, O' Higgins) aportan con un 12%, la Zona Norte (hasta la Región de Coquimbo) con un 14,5%, la Zona Sur (desde la Región Maule hasta Los Lagos) aporta con el 31,5% y finalmente las regiones del Extremo Sur con un 2%, esto es solo considerando los neumáticos hasta un tamaño usado en camiones (Ramirez,2011).

Gracias al esfuerzo voluntario de las empresas para reutilizar estos desechos, impulsado por el Consejo Nacional de Producción Limpia (CPL), ha permitido sanear más de 40 vertederos ilegales en el país.

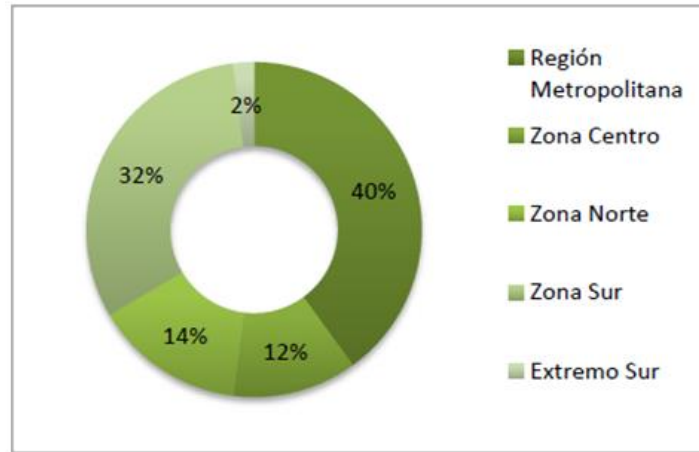


Figura 2.8. Distribución Geográfica de los Neumáticos Fuera de Uso.

(Elaboración propia)

2.14. Valorización de los Neumáticos Fuera de Uso

Los neumáticos desechados no generan ningún peligro inmediato, pero su eliminación de manera inapropiada o su producción en grandes cantidades, puede contaminar gravemente el medioambiente u ocasionar problemas a la hora de eliminarlo, por lo tanto es de gran importancia que tengan una valorización adecuada y no terminen acumulados en vertederos.

Para comenzar con la valorización de los neumáticos fuera de uso (NFU) se han considerado medidas aplicables al fabricante como a los usuarios. El aporte de los fabricantes es la implementación en mejoras tecnológicas que permitan extender la vida útil de los neumáticos y por parte de los usuarios que mejoren sus conductas de conducción y mantenimiento de los neumáticos, disminuyendo así la cantidad de residuos.

Mediante el reciclaje de los neumáticos, se pueden aprovechar sus componentes para distintos usos, lo que en Chile ha aumentado considerablemente en el último tiempo, pero a pesar de ello, el porcentaje de neumáticos desechados que son actualmente reciclados es aún muy bajo (Ramírez, 2011).

Dentro de las opciones de utilización material, coexisten una serie de alternativas de reciclaje, ya sea en obras de infraestructura con neumáticos enteros, o bien, la utilización del granulo, previa trituración del NFU, para la fabricación de productos moldeados, carpetas e incluso mezclas de asfalto y caucho.

Según la Cámara de la Industria del Neumático de Chile (CINC) y el Consejo Nacional de Producción Limpia (CLP) para que en Chile se valore más la reutilización de los neumáticos fuera de uso se necesita la cooperación de todos los actores económicos del sector y una normativa que regule las responsabilidades. Además de los actores formales de las cadenas

económicas de neumáticos (fabricantes, importadores, distribuidores, talleres automotrices y empresas de recauchaje entre otros) coexiste un mercado informal que le otorga una percepción de valor al NFU, que afecta el éxito en la recolección. Para lograr un buen desarrollo en la gestión de los NFU, deberá tenerse presente este problema socioeconómico, a fin de incluir acciones y normativas a una propuesta integral a desarrollar, que permita eliminar las prácticas actuales que atenten con la eficiencia de la gestión. Por otro lado, la dispersión de los generadores de NFU, propia de la geografía física y económica de nuestro país, y las diferencias en los tamaños de los neumáticos, presentan un obstáculo importante respecto a la cantidad efectiva de NFU que puedan recolectarse, y por ende dificulta la creación simultánea de empresas destinatarios dentro de un sistema de gestión integral de los NFU a nivel nacional. Se agrega a este análisis, la importancia de generar una conciencia social del usuario, para que sea responsable en exigir su derecho a que sus NFU sean correctamente reciclados por el sistema que se implementará bajo la gestión de los productores en colaboración con los esfuerzos estatales.

2.15. Propiedades de los neumáticos

Los neumáticos son estructuras toroidales complejas, se componen por una banda de rodadura elástica, una cintura prácticamente inextensible orientada, sobre una membrana inflada y sobre unos aros también inextensibles que sirven como enganche a otro elemento rígido, que es la llanta como se puede apreciar en la Figura 2.9. También existe un tipo de neumáticos que se les denomina diagonales correspondientes principalmente a los camiones.

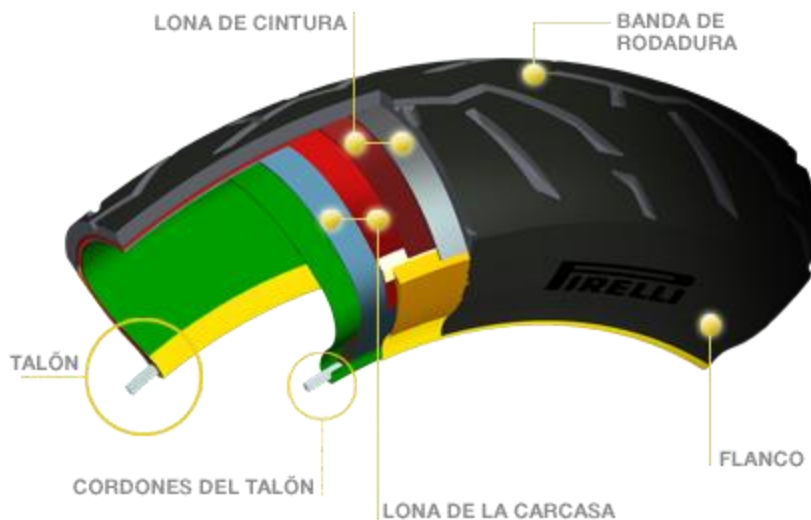


Figura 2.9. Nomenclatura de un neumático.

(Fuente: Segunda vida de los neumáticos usados.)

El tamaño y diseños de los neumáticos varía según la utilización que se le vaya a dar, sin embargo su composición es similar, están compuestos principalmente por caucho naturales o sintéticos (polisoprenos de síntesis, copolímeros de butadieno-estireno, polibutadieno, caucho butilo), el caucho en general corresponde a casi la mitad del peso del neumático, de las industrias de caucho un 60% de la producción anual se destina a la elaboración de neumáticos. Además de caucho contienen cargas reforzantes (negro de carbono y sílices), antioxidantes, materiales metálicos, textiles y otros ingredientes para lograr el proceso de vulcanización del caucho (CEDEX, 2007).

Los elastómeros o caucho son materiales poliméricos cuyas dimensiones pueden variar según sea el tipo de esfuerzo al cual son sometidos, volviéndolos a su forma cuando el esfuerzo se retira. En la fabricación de los neumáticos los cauchos más utilizados son Cauchos naturales (NR), Estireno Butadieno (SBR), Polibutadienos (BR) y polisoprenos sintéticos (IR), estos al ser sometidos al proceso de vulcanizado provoca que sean materiales muy duraderos, por lo que necesitaran de mucho tiempo para lograr su degradación. Los cauchos naturales son los encargados de proporcionar elasticidad y los sintéticos entregan estabilidad térmica, combinación que favorece en la durabilidad y capacidad de adaptarse a las exigencias del tránsito.

Tabla 2.4. Materiales de los neumáticos.

	Caucho y elastómeros (%)	Negro de carbono (%)	Metal (%)	Textil (%)	Aditivos (%)	ZnO (%)	Azufre (%)
Turismos	48	22	15	5	10	1 - 2	1,5
Vehiculos pesados	43	21	27	< 1	9	2 - 3	1 - 2

(Fuente: Catalogo de residuos)

Como podemos observar en la Tabla 2.4 además del alto porcentaje de caucho utilizado también cuenta con negro de carbono, metal, textil, aditivos químicos, óxido de cinc y azufre. En la fabricación de los neumáticos el porcentaje de caucho varía según el uso que se le pretenda dar. El negro de carbono se incorpora en la fabricación de las distintas partes de los neumáticos en proporciones variables, consiguiéndose variaciones en la rigidez, en la resistencia a tracción y abrasión. Los componentes metálicos del neumático proporcionan a su carcasa rigidez, resistencia y flexibilidad, constituyen un cordaje ligero de acero de alta resistencia. Los materiales textiles habitualmente utilizados en las carcasas de los neumáticos son el nylon, rayón y el poliéster.

Durante la mezcla de materias primas para la fabricación del neumático se añade al caucho y al negro de carbono una serie de aditivos como cargas, plastificantes, estabilizantes, agentes colorantes, acelerantes y retardantes. La misión de estos aditivos es modificar la dureza y resistencia del caucho e incrementar su resistencia a la abrasión, aceites, oxígeno, disolventes químicos y al calor.

El azufre se aporta durante el proceso de vulcanización, combinándose a temperaturas entre 120° y 160° con el caucho, lo que hace a este más resistente y elástico, contribuyendo a mejorar la durabilidad del neumático.

a) Propiedades físicas:

Los neumáticos como ya había mencionado están compuestos en su mayoría por caucho natural o sintético. La densidad de un neumático entero es de unos 0,15 t/m³, en la siguiente tabla se muestra el peso medio de neumáticos fuera de uso (NFU) según tipo:

Tabla 2.5. Peso medio de los neumáticos.

Tipo de NFU	Características	Peso medio (kg/NFU)
Motos	< 500 cc	0,84
	> 500 cc	4,10
Automóviles	Turismos	5,91
	Comerciales	10,6
	4x4	13,2
Camiones	-	52,7
Vehículos agrícolas	-	12,5
	Ruedas motrices	64,7
Vehículos industriales	8-15"	22,8
Maquinaria de obra	< 12"	52,4
	> 24"	245

(Fuente: Catalogo de residuos)

b) Propiedades químicas:

Los neumáticos resultan de una mezcla de 63 compuestos químicos diferentes que se agrupan fundamentalmente en hidrocarburos, minerales y metales. Dentro de los hidrocarburos se pueden encontrar los polímeros más utilizados en su fabricación, tales como el estireno-butadieno, polisoprenos y polibutadieno, entre otros.

Entre minerales utilizados en los neumáticos fuera de uso encontramos principalmente óxido de cinc, el azufre y el negro de carbono (20-30% en combustión incompleta de hidrocarburos) y otros compuestos metálicos.

Las características que poseen los neumáticos fuera de uso es que son resistentes a la acción del moho, calor, humedad, luz solar y rayos ultravioletas, algunos aceites y a muchos disolventes, por lo tanto son un material no biodegradable y tampoco es toxico. Su alta resistencia a características químicas provoca que tengan una larga vida útil la cual no está siendo bien aprovechada en nuestro país.

c) Propiedades mecánicas

Los neumáticos debido a su forma y elasticidad, son un material difícil de compactar.

2.16. Procesamiento o transformación de los neumáticos fuera de uso

A mediados del año 2010 la Cámara de Importaciones y Fabricantes de Neumáticos (CINC) más el sector público decidieron inaugurar la primera y única planta de reciclaje de neumáticos en nuestro país denominada Polambiente, la cual alcanza un nivel de producción de 14000 toneladas al año, lo que equivale a 1 millón de neumáticos fuera de uso.

La planta cuenta con una moderna tecnología italiana especialmente diseñada para el reciclaje de neumáticos. Mediante una trituración mecánica, se obtienen los neumáticos triturados que se pueden granular en distintos tamaños dependiendo de la separación de sus cuchillos, además separa el caucho del acero y de la fibra textil. Los neumáticos que se utilizan para este proceso son neumáticos de camión, bus, auto y camioneta de hasta 1,3 metros de altura y hasta 35 cm de ancho (Polambiente).



Figura 2.10. Proceso de trituración NFU.

(Fuente: Polambiente)

Como se puede observar en la Figura 2.10 el proceso de trituración comienza con la recolección de los neumáticos y su llegada a la fábrica, se colocan en las bandas transportadoras (1) que llevan el producto a una serie de cuchillas que lo trituran en distintos tamaños (2,3), luego se separan en los distintos materiales ya sea caucho, textil y acero, finalmente son depositados en recipientes para ser utilizados (Bravo, 2011).

2.17. Propiedades del material procesado

a) Propiedades físicas:

El material que se obtiene de la trituración mecánica posee una forma irregular, donde su tamaño puede variar según la utilización que se le quiera dar. La densidad del caucho reciclado como pieza individual está entre 1,15 y 1,45 t/m³, como material no compactado su densidad variara entre 0,40 y 0,60 t/m³ en función del tamaño y forma de los trozos, como material compactado bajo una tensión normal de 100 Kpa la densidad será entre 0,72 y 0,92 t/m³ este varía según el método utilizado para su compactación. Además el material presenta una elevada permeabilidad, asimilable a las arenas finas.

b) Propiedades químicas

En el material procesado se encuentra principalmente caucho sintético y natural, negro de carbono, azufre, óxido de zinc más otros aditivos en cantidades pequeñas. Los cuales no son reactivos bajo condiciones ambientales normales de 25°C y 1 atm.

El polvo de neumático de menor tamaño requiere menos tiempo de reacción o “digestión” y también menos temperatura de mezcla. Las partículas más gruesas son más baratas de obtener pero requieren mayor tiempo y temperatura de digestión.

De los resultados obtenidos en ensayos químicos se deduce que el empleo de los neumáticos reciclados como material de relleno viario es perfectamente viable desde el punto de vista medioambiental.

c) Propiedades mecánicas

El tamaño de las piezas de neumático reciclado que este comprendido entre 25 y 100mm no afecta en los parámetros de cohesión, ángulos de rozamiento y módulos de deformabilidad del material.

Su compactación en una propiedad difícil de determinar debido a las grandes dimensiones del molde necesario para ello y el efecto rebote que provoca la maza compactadora cuando golpea las piezas de neumático reciclado. Al analizar las deformaciones verticales obtenidas mediante ensayo edométrico resulto que los valores que se obtienen son muy superiores a los ensayos de suelos en cambio los módulos secantes del material son muy bajos debido a que es un material deformable.

2.18. Hormigón con caucho

Desde hace un tiempo los neumáticos fuera de uso han recibido gran atención debido al volumen que están generando y a su dificultad para eliminarlos.

Según diversos estudios se ha determinado que existen varias vías para que el caucho reciclado posea utilidad (Hernández-Olivares et al. 2002). Para que el caucho reciclado pueda ser utilizado en el hormigón y así armonizar con el medio ambiente tiene que convertir su forma a una óptima, alguno de los investigadores lo hicieron con la finalidad de minimizar el impacto ambiental que generan los neumáticos fuera de uso, mientras que otros investigadores lo hacen por la necesidad de buscar mejorar las propiedades del hormigón tanto en su estado fresco como endurecido, debido a que el hormigón es uno de los materiales más usados en la construcción.

Según resultados de investigaciones la incorporación de caucho en el hormigón resulta una mezcla heterogénea, no se observa segregación del agregado y el caucho se distribuye uniformemente dentro de la mezcla cuando se encuentra granulado, además el incluir caucho en el hormigón disminuye fallas catastróficas en el caso de un hormigón corriente las grietas se propagan inmediatamente provocando una falla instantánea, en cambio en el hormigón con caucho este mantiene los lados juntos después que aparece la grieta lo que permite que el material soporte parte de la carga a grandes deformaciones. Además se determinó que el incorporar caucho otorga mejora su comportamiento a la compresión.

Para las realizaciones de estos estudios se ha considerado experimentar con diferentes tamaños de granos de caucho, siendo los finos menores o iguales a 1,19mm y los gruesos mayores o iguales a 1,19 mm, diferentes porcentajes ente 5% y 30%, en forma de granos y trozados, reemplazando áridos en la mezcla y procesos de producción.

2.18.1. Hormigón con caucho en estado fresco

El hormigón como ya había mencionado se encuentra en estado fresco cuando se incorpora agua a la mezcla hasta que comienza a solidificarse, en la prueba de asentamiento de cono el hormigón con caucho presente un mayor asentamiento de cono que un hormigón convencional debido a la falta de porosidad del caucho.

En la realización de la granulometría para este hormigón de los agregados inertes influye en la compatibilidad del concreto fresco, la granulometría debe variar desde partículas de un tamaño fino a las más gruesas (Betón Kalender, 1957), es por esto que en los ensayos realizados con mezclas al azar se obtienen mejores resultados, provoca que se acomoden mejor dejando menos espacios vacíos o huecos en la mezcla de hormigón en estado fresco, lo que influye en la plasticidad y compatibilidad, afectando la trabajabilidad y resistencia mecánica, mejora la resistencia a la compresión y tracción.

2.18.2. Hormigón con caucho en estado endurecido

El hormigón con caucho en estado endurecido según diversos estudios realizados indican que poseen las siguientes propiedades:

a) Compresión

En las mezclas realizadas con partículas de tamaños finos y gruesos se observó que muestran una disminución considerable en su resistencia a la compresión en los 28 días en comparación con un hormigón tradicional. Además la utilización de la partícula gruesa de caucho en el compuesto produce un menor valor de resistencia a la compresión al compararlo con el compuesto que contiene caucho de tamaño fino. Cuando se utilizan los tamaños de partículas al azar la variación de resistencia a la compresión de un hormigón con caucho es casi igual a la de un concreto tradicional, esta varía solo en un 8%.

b) Tracción

La variación de resistencia a la tracción es similar a los resultados de la resistencia a la compresión, el caucho afecta de forma similar a ambas propiedades, disminuye su resistencia al variar la incorporación de los áridos finos y gruesos, pero al ser incorporados al azar la variación puede ser despreciable.

c) Velocidad de Pulso Ultrasónico

Esta velocidad en el hormigón con caucho de partículas al azar son las que presentan un mejor comportamiento a realizar un ensayo a los 28 días de curado, siendo similar al del hormigón tradicional.

d) Elasticidad

El comportamiento del módulo de elasticidad los valores para el compuesto con caucho al azar son muy similares al del hormigón tradicional, registrando una disminución del 1%. En cambio en los compuestos con árido fino y grueso las variaciones fueron de 26% y 38% siendo el árido grueso más deficiente, en estos casos el hormigón presenta una estructura interna con mayor número de espacios vacíos debido a una disminución menos eficiente de las partículas del agregado, lo que trae como consecuencia un decremento en la velocidad de pulso y por esto el módulo de elasticidad.

e) Acústica

Como sucede en los casos anteriores al incorporar los tamaños de partículas fino y grueso por separado afectan disminuyendo la propiedad, en cambio al agregar estos al azar favorecen al hormigón en sus propiedades, la incorporación del caucho al hormigón provoca que se mejore su aislación acústica.

2.19. Normativa y ensayos

- NCh 168 – 2001 “Ladrillos cerámicos – verificación dimensional y geométrica”

Esta norma establece los ensayos que se deben realizar luego de la elaboración de los ladrillos, será utilizada para analizar a que clase según la NCh 169 Of 2001 corresponde el ladrillo creado. Se determinará largo, ancho y altura de estos.

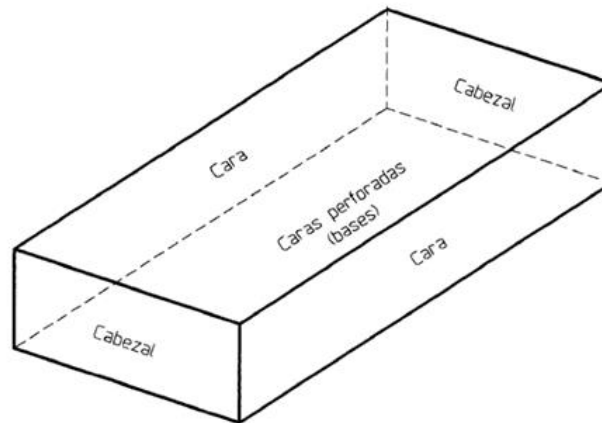


Figura 2.11. Nomenclatura del ladrillo.

(Fuente: Nch 168 Of. 2001)

I. Verificación dimensional de las unidades

Para comenzar se debe realizar una medición individual de los probetas de los ladrillos para determinar sus dimensiones. Se ubica una regla rígida o un pie de metro en un punto central de una arista hasta el punto central de la arista opuesta de cada una de las dimensiones, las cuales corresponden al largo (1), ancho (2) y alto(3), ubicadas en el mismo plano como se puede observar en la Figura 2.12.

Finalizado el proceso se calcula un promedio aritmético de las cuatro mediciones efectuadas.

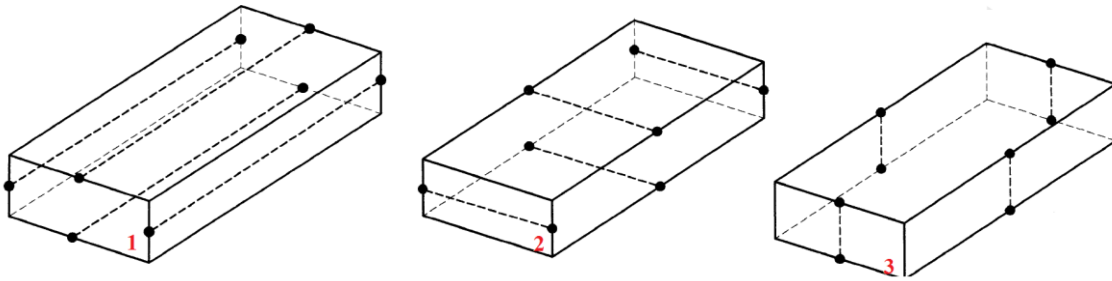


Figura 2.12. Verificación dimensional de los ladrillos.

(Fuente: Nch 168 Of. 2001)

II. Verificación geométrica de los ladrillos

a) Planeidad de las caras bases

Para este ensayo se utiliza una regla metálica la cual es apoyada en las diagonales, si aparece una concavidad (1) en una cara, se mide la desviación deslizando la cuña bajo (2) la regla metálica apoyada en el ladrillo. En caso que la cara medida sea convexa (3), se mide la desviación d_1 y d_2 de las diagonales en ambos extremos.

Finalmente al igual que en el caso anterior se obtiene un promedio de las mediciones.

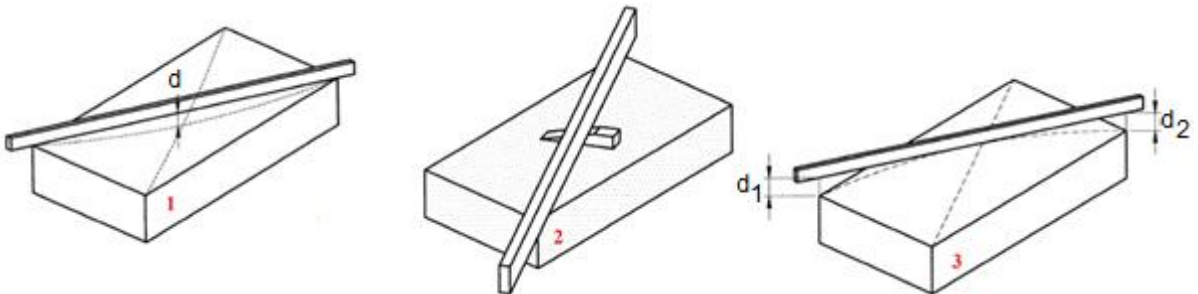


Figura 2.13. Planeidad de las caras.

(Fuente: Nch 168 Of. 2001)

b) Rectitud de las aristas

Se determina la desviación de las aristas apoyando una regla metálica en línea recta en los cantos horizontales y verticales de la arista. En el caso de que la arista sea cóncava (1) se mide la desviación deslizando una cuña bajo la regla, considerando la mayor magnitud, si es convexa (2) la regla se apoya sobre el punto más alto de la arista y se realiza la medición a ambos extremos de la arista con una cuña bajo la regla. Los resultados también serán obtenidos con el promedio de los datos registrados.

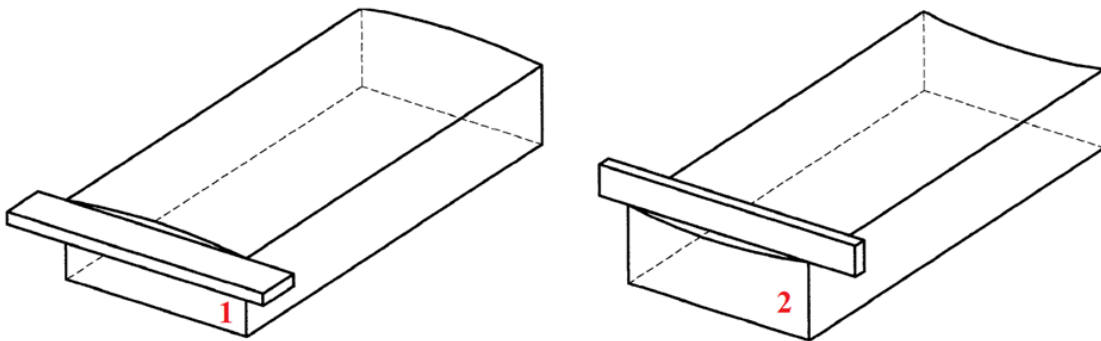


Figura 2.14. Rectitud de las aristas.

(Fuente: Nch 168 Of. 2001)

c) Ortogonalidad de los ángulos externos

Se apoya un cateto de la escuadra metálica sobre el eje central de las caras del ladrillo para determinar la desviación angular que poseen. Para ángulos de los diedros agudos (1) y obtusos (2) se desliza una cuña en el cateto libre de la escuadra, la magnitud que indica el borde inferior del cateto libre de la escuadra sobre la cuña corresponderá a la desviación angular del diedro.

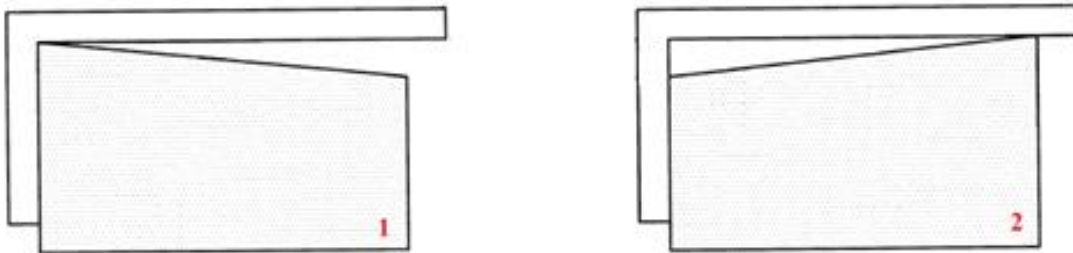


Figura 2.15. Ortogonalidad de los ángulos externos.

(Fuente: Nch 168 Of. 2001)

- **NCh 169 – 2001 “Ladrillos cerámicos – Clasificación y requisitos”**

A continuación se presenta un resumen de las clasificaciones y requisitos de los ladrillos según la norma, se aplica solo a ladrillos hechos a máquina utilizados en viviendas, edificios y obras civiles en general.

I. Clasificación por clases

a. Ladrillo macizos hechos a maquinas (MqM)

Unidades macizas sin perforaciones ni huecos.

b. Ladrillos perforados hechos a máquina (MpM)

Unidades que poseen perforaciones y huecos, regularmente distribuidos, cuyo volumen es inferior al 50% del volumen bruto o total.

c. Ladrillos huecos hechos a máquina (MqH)

Unidades que poseen huecos y perforaciones, regularmente distribuidos, cuyo volumen es mayor o igual al 50% del volumen bruto o total.

II. Clasificación por grado

Se clasifican en Grado 1, grado 2 y grado 3, según los requisitos de resistencia a la compresión, adherencia y absorción de agua que se indica Tabla 2.6.

Tabla 2.6. Clases de ladrillos cerámicos.

Requisitos mecánicos	Grados de ladrillos cerámicos						
	1		2		3		
	Clases de ladrillos cerámicos						
	MqM	MqP	MqH	MqP	MqH	MqP	MqH
Resistencia a la compresión, mínima (MPa)	15	15	15	11	11	5	5
Absorción de agua, máxima %	14	14	14	16	16	18	18
Adherencia, mínima (Mpa) (área neta)	0,4	0,4	0,4	0,35	0,35	0,3	0,25

(Fuente: Nch 169 Of. 2001)

III. Requisitos de forma y terminación

Los requisitos establecidos se presentan en la siguiente Tabla 2.7:

Tabla 2.7. Requisitos de forma y terminación.

Requisitos	Tipo de ladrillo (según su uso)	
	Cara vista (V)	Cara para ser revestida (NV)
Fisura superficial	La fisura superficial se limita en longitud a no más de 1/3 de la dimensión de la cara con respecto a la dirección de la fisura. En los cabezales se acepta la existencia de fisuras superficiales sin importar su longitud.	Se acepta en cualquier cara sin importar su longitud.
Fisura pasada	No se acepta en caras mayores. Se acepta a lo más una fisura pasada en alguno de los cabezales.	Se acepta una fisura pasada en cualquiera de sus caras.
Desconchamiento	Se acepta la existencia de a lo más un desconchamiento superficial y, siempre que su diámetro no supere 10 mm.	Se acepta hasta un desconchamiento por cara, limitando también su diámetro a 10 mm como máximo.
Eflorescencia	Se acepta la presencia de eflorescencias, de fácil remoción, cuya extensión se limita por acuerdo entre las partes.	
Tolerancias de planeidad	± 4 mm	± 4 mm
Tolerancias dimensionales		
Largo	± 5 mm	± 5 mm
Ancho	± 3 mm	± 3 mm
Alto	± 3 mm	± 3 mm

(Fuente: Nch 169 Of. 2001)

- **NCh 167 – 2001 “Ladrillos cerámicos – Ensayos”**

En la siguiente norma se establecen los procedimientos para realizar los ensayos, se determinará resistencia a la compresión, absorción de agua, adherencia de cizalle, eflorescencia y succión de los ladrillos cerámicos.

Como los procedimientos son explicados detalladamente en el desarrollo experimental del proyecto a continuación solamente se dará la definición correspondiente de cada ensayo:

I. Resistencia la compresión

Es la relación entre la carga máxima recibida perpendicularmente por el ladrillo.

II. Absorción de agua

Corresponde a la cantidad de agua que absorbe el ladrillo luego de una inmersión total durante 24 horas.

III. Adherencia de cizalle

Atracción físico-química entre la superficie del ladrillo y el mortero de pega en íntimo contacto, en este caso una probeta corresponde a tres ladrillos unidos por mortero de pega.

IV. Eflorescencia

Corresponde a manchas superficiales que aparecen en los ladrillos producidas por la cristalización de sales solubles.

V. Succión

A diferencia del ensayo de absorción en este caso el ladrillo no es sumergido completamente y además es realizado durante un cierto tiempo, nos permite analizar la capacidad de imbibición de agua por capilaridad.

3. Diseño Experimental

3.1. Antecedentes generales

El siguiente capítulo, correspondiente a la metodología experimental del proyecto, tiene como objetivo identificar y explicar cada uno de los procesos que fueron realizados para llevar a cabo el estudio de la factibilidad de los ladrillos con caucho reciclado de neumáticos, de una manera lógica y secuencial, generando una metodología del estudio con cada una de las etapas previamente definidas para lograr dar respuesta a los objetivos propuestos en el primer capítulo.

En cada una de las etapas propuestas para llegar a los objetivos se plantearon: variables de control, son aquellas que permanecieron constantes durante la investigación como el tipo de cemento, variables independientes que a diferencia de la anterior sufren variación y se pueden identificar entre ellas la cantidad de caucho y las dosis de cemento que se utilizó, finalmente están las variables dependientes aquellas que se obtuvieron mediante ensayos realizados según las normas chilenas vigentes.

De acuerdo a la metodología implementada se da a conocer cada etapa experimental y las actividades componentes de cada una, luego se exponen los distintos procedimientos y equipamientos utilizados para la determinación de variables, finalizando con la planificación de muestreo.

3.2. Etapas de la actividad experimental

Para llevar a cabo la actividad el programa experimental fue dividido en dos etapas, la primera etapa consistía en diseñar mezclas de hormigón variando la dosis de cemento y los porcentajes de caucho, se obtuvo un total de nueve dosificaciones donde cada una fue ensayada a los 28 días para obtener la resistencia a compresión, esta etapa se realizó con la finalidad de obtener la dosificación más conveniente.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la primera etapa se seleccionó la mezcla que presentara la mejor relación precio-calidad para ser utilizada en la fabricación de los ladrillos, gracias a la primera etapa se evitó realizar grandes cantidades de muestras para comprobar eran un producto factible.

La segunda etapa consistió en la elaboración de los ladrillos en cantidad de unidades necesarias, se realizaron los ensayos prácticos correspondientes para comprobar la factibilidad del ladrillo para albañilería reforzada y además se realizó un análisis económico del producto.

3.3. Metodología de la investigación

Para que los resultados obtenidos fueran confiables y adecuados a los requerimientos exigidos, se graficó mediante la Figura 3.1, el siguiente diagrama de flujo el cual muestra en detalle la metodología de trabajo usada para esta investigación.

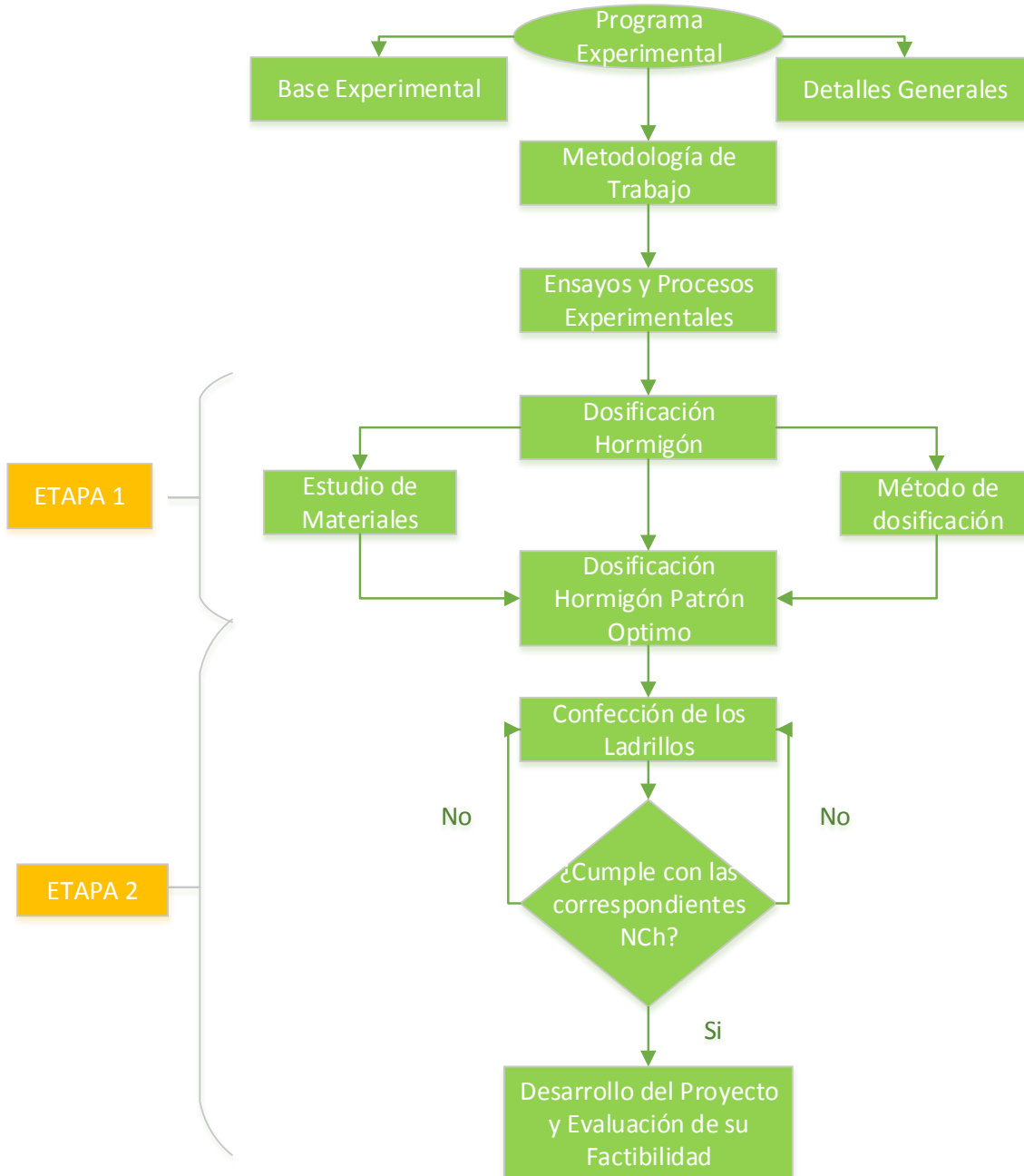


Figura 3.1. Diagrama metodología de trabajo.

(Fuente. Elaboración propia)

3.4. Detalles generales de la experiencia

La realización del diseño de hormigón y metodología a realizar se llevó a cabo mediante las siguientes consideraciones en el diseño de la experiencia:

a. Tipo de hormigón

En la elaboración del hormigón se utilizó durante todo el proyecto cemento portland puzolánico de grado corriente.

b. Tipo y cantidad de moldes a emplear

Para la primera etapa del proceso se utilizan tres moldajes cúbicos de 15 x 15 cm por mezcla de hormigón, que fueron ensayadas a compresión a los 28 días. Para la siguiente etapa se fabrican los ladrillos mediante una máquina de compactación la cual le dio la forma a los ladrillos, se confeccionaron un total de 36 unidades.

c. Hormigón patrón

El hormigón patrón es aquel que mantendrá las dosificaciones para cada muestra experimental, al terminar esta etapa donde se escoja el hormigón con mejor relación calidad-precio será este el hormigón patrón óptimo.

d. Cantidad de mezcla por etapa

Tabla 3.1. Total litros de mezcla para hormigones.

Tipo de Probeta	Dimensiones			Cantidad Mezcla		
	Ancho (a) (mm)	Alto (h) (mm)	Largo (l) (mm)	Volumen (Litros)	N° Probetas	Total Mezcla (Litros)
Cubica	150	150	150	3,38	9	30,42
Ladrillos	140	50	285	2	36	72
						102,42

(Fuente. Elaboración propia)

En la Tabla 3.1 se observa la utilización de 102,42 litros de hormigón para la confección de las probetas necesarias, donde las cubicas son para la primera etapa y la confección de ladrillos para la segunda.

Se debe considerar que al estar trabajando con hormigón se debe realizar el ensayo de docilidad mediante el Cono de Abrams para su realización se sumaran 9 litros a la mezcla y en

caso de cualquier imprevisto se considerara un 15% adicional a la mezcla por etapa, es decir se le agrega un 15% a las probetas cúbicas y un 15% a la confección de ladrillos, para evitar la falta de material por perdidas, rendimiento y/o para evitar utilizar el material rapado en el llenado de cada una de las probetas, ya que este material en la mayoría de los casos no presenta una consistencia exacta.

Por lo tanto mediante el análisis realizado anteriormente para la primera etapa se necesita un mínimo de 44 litros de hormigón, cabe mencionar que serán nueve tipos de mezclas una por cada probeta que varían en porcentaje de caucho y dosis de cemento. Para la etapa dos que corresponde a la elaboración de los ladrillos se consideraran 83 litros. Como conclusión para la elaboración del proyecto se necesitó alrededor de 127 litros de mezcla aproximadamente.

3.5. Planteamiento y Definición de Variables

Dentro del estudio se relacionan variables dependientes e independientes, más las constantes. A continuación se presenta el ordenamiento de estas según sus etapas.

3.5.1. Primera Etapa: “Diseño del Hormigón Patrón”

a. Variables Independientes

Cantidad de caucho a sustituir: Cada mezcla que se confecciono en el proyecto fue con un reemplazo del 10 %, 20 % y 30 % de cacho sustituido en el volumen aparente del árido fino. A pesar que en estados del arte de hormigón con adiciones de caucho se recomienda no sustituir más allá de un 20% se comprueba esta teoría reemplazando con un 30 % de caucho en el hormigón.

Tamaño del caucho: Es de acuerdo a los que se están produciendo hoy en día en nuestro país, los tamaños son los siguientes:

- Gránulos polvo hasta 1 mm.
- Gránulos de 1 a 2,5 mm.
- Gránulos de 2,5 a 3,5 mm.
- Gránulos de 3,5 a 5 mm.

Dosis de cemento: En la elaboración de las mezclas de hormigón también varía la dosis de cemento a utilizar, estas son:

- Dosis A: 180 Kg/m³.
- Dosis B: 240 Kg/m³.
- Dosis C: 300 Kg/m³.

b. Variables Dependientes

Propiedades Mecánicas: En esta etapa de la investigación se utilizan como propiedades mecánicas la resistencia a la compresión del hormigón como indicadores de la capacidad para obtener la mezcla más adecuada.

c. Constantes

Tipo de Cemento: Para el hormigón se utiliza cemento portland Puzolánico grado corriente el cual es generalmente utilizado para la confección de hormigones y morteros de uso general o tradicional, donde no existan exigencias particulares de resistencia iniciales (con edad menor a 72 horas) hormigones con resistencia especificada hasta correspondiente a grado H35. Este cemento entrega una buena relación rendimiento v/s costo, confiere a los hormigones la mayor protección a los agentes agresivos normales, logra un material cohesivo y trabajable.

El cemento está compuesto a base de clinker, puzolana y yeso, dosificados de manera precisa y controlada en el proceso de la molienda conjunta, para obtener un producto estable, la clasificación se realiza en base a las normativas de nuestro país siendo:

- Ch148 Of.68 Clase Puzolánico, Grado Corriente
- ASTM C595: Tipo P (Cemento Portland-Puzolánico)
- ASTM C1157: Tipo HS (Alta resistencia a los sulfatos)

Información técnica del Cemento (Melón Especial)

En la siguiente tabla se observan los resultados obtenidos según los requerimientos exigidos por la Nch148.0f68:

Tabla 3.2. Características del cemento.

Variable de control	Melón Especial	Requerimiento Nch148.Of68
Fraguado Inicial (minutos)	180	> 60
Fraguado Final (minutos)	240	< 720
Superficie específica Blaine (cm ² /gr)	4100	-
Peso específico (gr/dm ³)	2,81	-
Resistencia a compresión (kg/cm²)		
7 días	230	> 180
28 días	340	>250
Resistencia a flexotracción (kg/cm²)		
7 días	45	> 35
28 días	62	> 45
Pérdida por calcinación (%)	2,8	< 5
Residuo insoluble (%)	34	< 50
Contenido de SO₃ (%)	2,4	< 4

(Fuente. Ficha de Cemento Melón Especial)

Tamaño máximo nominal: para el hormigón se utiliza un tamaño máximo de los áridos de 12,5 mm. Este tamaño se determinó en base a las normas, la cual indica que el tamaño máximo nominal del árido corresponderá a 1/3 del espesor, se considera para la mezcla el espesor del ladrillo que corresponde a 7 cm de espesor.

3.5.2. Segunda Etapa “Evaluación de los ladrillos fabricados con el hormigón patrón”

a. Variables independientes

En esta etapa no se consideran variables independientes ya que se trabaja con el hormigón diseñado en la primera etapa, el cual fue escogido por ser la mezcla más conveniente luego de realizar el ensayo de compresión a los 28 días.

b. Variables dependientes

Propiedades mecánicas del ladrillo: Este punto de la investigación es de gran importancia ya que se realizan los ensayos necesarios de acuerdo a la Nch 167 Of.2001 para evaluar si la creación de los ladrillos con la adición de caucho en su interior son un producto factible. Los ensayos son:

- Resistencia a la Compresión
- Absorción de Agua
- Adherencia de Cizalle
- Determinación de la Succión

El ensayo de eflorescencia no se realiza ya que al estar trabajando con hormigón no tenemos cantidades de sales considerables en la mezcla, en comparación cuando se realizan ladrillos cerámicos con arcilla.

c. Variable de Control (constante)

En esta etapa se suma una nueva constante a la investigación la cual es la mezcla de hormigón elegida para la confección de los ladrillos.

3.6. Factorial de ensayo

La siguiente factorial de ensayo permite planificar el desarrollo experimental de la presente investigación, esta factorial se divide de acuerdo a las etapas señaladas anteriormente. A continuación de detalla cada uno de los factoriales.

3.6.1. Primera etapa

La principal variable a determinar en esta etapa de la investigación es encontrar una dosificación apropiada para obtener un hormigón patrón con caucho reciclado que sea capaz de cumplir con las resistencias mínimas establecidas por las normas a través de la evaluación de 9 tipos de mezclas para ser utilizado en la segunda etapa.

Tabla 3.3. Distribución del porcentaje de caucho según mezclas de hormigón.

Hormigón	Cantidad Caucho (%)		
	10	20	30
A	HC - 10A	HC - 20A	HC - 30A
B	HC - 10B	HC - 20B	HC - 30B
C	HC - 10C	HC - 20C	HC - 30C

(Fuente. Ficha de Cemento Melón Especial)

En donde:

A: Mezcla de hormigón considerando una dosis de 180 Kg/m³.

B: Mezcla de hormigón considerando una dosis de 240 Kg/m³.

C: Mezcla de hormigón considerando una dosis de 300 Kg/m³.

HC: Hormigón con caucho.

Como conclusión de la primera etapa se fabrican 9 tipos de hormigones para la determinación de las variables antes descritas.

Para cada ensayo descrito como variable dependiente se utilizan 3 probetas por tipo de hormigón, fabricando un total de 9 probetas que serán ensayadas a compresión.

3.6.2. Segunda etapa

La segunda etapa como ya se había mencionado consiste en comprobar la factibilidad del ladrillo de hormigón con caucho reciclado, para esto se evalúa según la norma vigente NCh167. Of2001 la cual indica los tipos de ensayos que se deben realizar a los ladrillos.

Los ensayos a realizar son:

- Resistencia a la compresión, donde el tamaño mínimo de muestras es de seis ladrillos que se identifican con la letra V.
- Absorción de agua, el tamaño mínimo de muestra es de 6 ladrillos y se representan por la letra X.
- Adherencia de cizalle, en este ensayo la cantidad de probetas que se utilizan son seis pero se constituyen por 3 ladrillos adheridos con un mortero de pega, por lo tanto el valor total de ladrillos que se utiliza es de 18 unidades y las muestras son identificadas por la letra Y
- Determinación de la succión, en este se utiliza una muestra de 6 ladrillos identificados por la letra Z.

En la Tabla 3.4 se puede observar el reconocimiento de las muestras.

Tabla 3.4. Distribución de identificación de mezclas según ensayos a realizar.

Ensayos	Muestras					
Resistencia a la Compresión	V1	V2	V3	V4	V5	V6
Absorción de Agua	X1	X2	X3	X4	X5	X6
Adherencia de Cizalle	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
Succión	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6

(Fuente. Elaboración propia)

3.7. Máquina para la fabricación de ladrillos

Para la fabricación de los ladrillos se utiliza una maquina diseñada para la elaboración de lego ladrillos, la cual se modificó mediante placas metálicas obteniendo así la forma del ladrillo macizo.

La máquina se fundamenta en la “palanca de fuerza infinita” o “toggle”, de tal manera que en la medida que se va comprimiendo la mezcla se incrementa la presión sobre esta, produciendo un ladrillo de construcción de buena resistencia y durabilidad.

En la siguiente imagen se puede observar el diseño de la máquina.

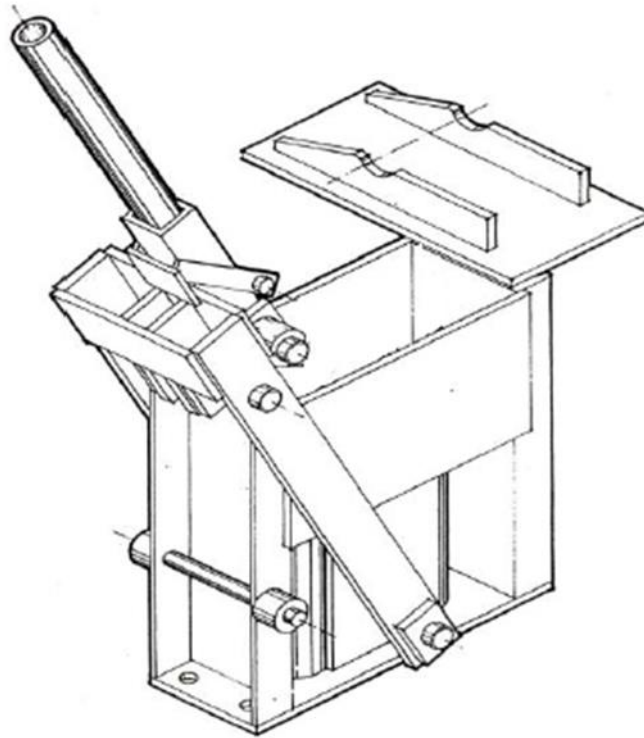


Figura 3.2. Máquina para la elaboración de ladrillos.

(Fuente. Tesis Ing. En Construcción, Ignacio Lara)

4. Desarrollo Experimental

4.1. Generalidades

Mediante el siguiente capítulo se da a conocer el trabajo práctico desarrollado en laboratorio, previo a las etapas mencionadas en el capítulo anterior para determinar las variables necesarias para el estudio del proyecto, caracterizando los áridos y materiales a utilizar para determinar las dosificaciones. Los estudios de los áridos que se utilizan en esta experiencia, son basados según la Norma Chilena vigente NCh 163 Of. 2013 realizando los siguientes ensayos:

- Tamizado y determinación de la granulometría (NCh 165 Of. 2009).
- Determinación de la densidad aparente (NCh 1116 Of. 2008).
- Densidad real, neta y absorción de agua de las gravas (NCh 1117 Of. 2010).
- Densidad real, neta y absorción de agua de las arenas (NCh 1239 Of. 2009).
- Determinación del contenido de humedad en todos los áridos (NCh 1515 Of. 1979).

Los materiales obtenidos para la realización del hormigón son de producción nacional y la realización de los ensayos para obtener las características de estos se llevaran a cabo en los laboratorios de hormigones de la Escuela de Construcción en la Universidad de Valparaíso.

4.2. Caracterización de los áridos

Los áridos que se utilizan en la experiencia son chancados provenientes del río Aconcagua, producidos por la planta de áridos Boco de Concón los cuales son grava y arena. Para que estos sean utilizados deben cumplir con los requisitos establecidos en la NCh 163 Of 2013 “Áridos para morteros y hormigones – Requisitos”.

La grava a utilizar en este trabajo fue sometida a los ensayos antes descritos, donde sus resultados serán detallados a continuación con el fin de identificar sus características principales.

4.3. Características de la grava

4.3.1. Granulometría de la grava

Este procedimiento es ejecutado de acuerdo a la NCh 165 Of. 2009, da a conocer la distribución y proporción del tamaño de los áridos. Como el espesor del ladrillo es de 7 cm se trabaja con árido de tamaño máximo 12,5 mm (1/2”) según la norma ACI 211.1 – 81. Los ensayos correspondientes, se realizaron tomando tres muestras.

Tabla 4.1. Muestra N° 1 granulometría de la grava.

MUESTRA 1

Tamiz mm	Peso Retenido			% Pasa	Tamaño máximo 12,5
	Peso	% Retenido	% R. Acumulado		Banda Grava
20	0,000	0	0	100	100%
12,5	0,015	0	0	100	90% - 100%
10	2,957	42	42	58	40% - 70%
5	3,675	52	95	5	0% - 15%
2,5	0,237	3	98	2	0% - 5%
R	0,120	2	100	0	
	7,004	100			

Masa final	7,004	Masa inicial	7,016	Error	0,17
------------	-------	--------------	-------	-------	------

(Fuente. Elaboración propia)

Tabla 4.2. Muestra N° 2 granulometría de la grava.

MUESTRA 2

Tamiz mm	Peso Retenido			% Pasa	Tamaño máximo 12,5
	Peso	% Retenido	% Ret. Acum.		Banda Grava
20	0,000	0	0	100	100%
12,5	0,017	0	0	100	90% - 100%
10	2,477	37	38	62	40% - 70%
5	3,870	59	96	4	0% - 15%
2,5	0,210	3	99	1	0% - 5%
R	0,035	1	100	0	
	6,608	100			

Masa final	6,608	Masa inicial	4,411	Error	0,13
------------	-------	--------------	-------	-------	------

(Fuente. Elaboración propia)

Tabla 4.3. Muestra N° 3 granulometría de la grava.

MUESTRA 3

Tamiz mm	Peso Retenido			% Pasa	Tamaño máximo 12,5
	Peso	% Retenido	% Ret. Acum.		Banda Grava
20	0,000	0	0	100	100%
12,5	0,097	2	2	98	90% - 100%
10	1,859	37	39	61	40% - 70%
5	2,873	57	96	4	0% - 15%
2,5	0,182	4	99	1	0% - 5%
R	0,039	1	100	0	
	5,050	100			

Masa final	5,050	Masa inicial	5,054	Error	0,08
------------	-------	--------------	-------	-------	------

(Fuente. Elaboración propia)

Tabla 4.4. Promedio de las muestras de granulometría de grava.

Tamiz	% Pasa				Tamaño máximo 12,5
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	
mm					Banda Grava
20	100%	100%	100%	100%	100%
12,5	100%	100%	98%	99%	90% - 100%
10	58%	62%	61%	60%	40% - 70%
5	5%	4%	4%	4%	0% - 15%
2,5	2%	1%	1%	1%	0% - 5%
Módulo de finura				6,35	

(Fuente. Elaboración propia)

La grava escogida para la elaboración del hormigón cumple con los requisitos exigidos por la norma, ya que la distribución de los tamaños se encuentra dentro de la banda granulométrica exigida por la norma para tamaño máximo 12,5 mm.

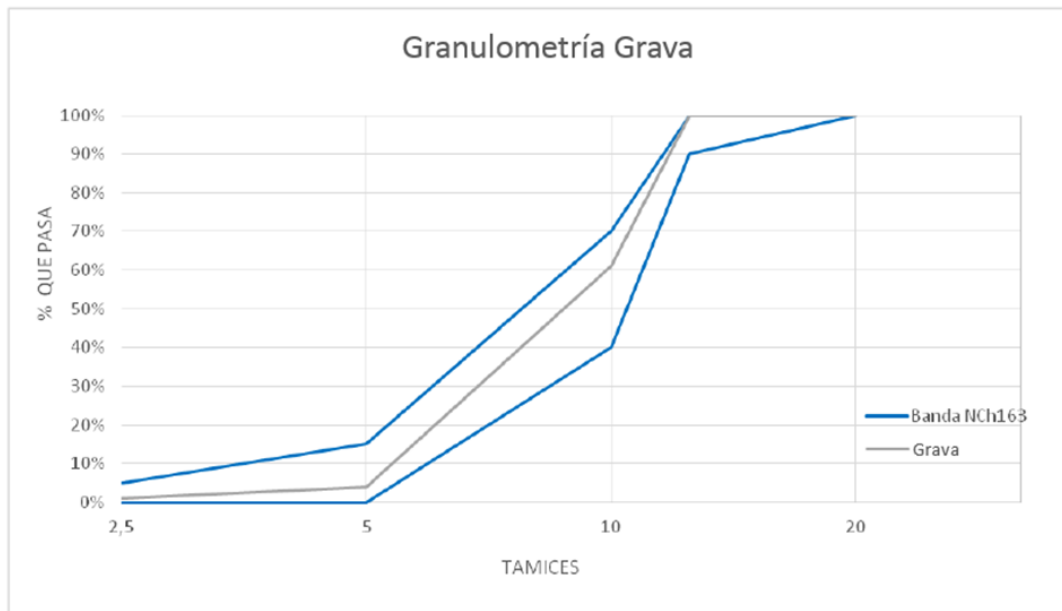


Figura 4.1. Gráfico de banda granulométrica de la grava más promedio de las muestras.

(Fuente. Elaboración propia)

4.4. Densidades de la grava

Para obtener las densidades de la grava se realizaron los procedimientos según la NCh 1116 Of. 2008 para la densidad aparente y la NCh 1117 Of. 2010 para determinar la densidad real, neta y absorción de agua para las gravas. Las muestras utilizadas son las mismas que fueron escogidas para la granulometría.

- **Densidad aparente suelta (ρ_{as})**

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

Siendo:

ms = masa del árido suelto que llena la medida (kg)

v = capacidad volumétrica de la medida (m^3)

Según la fórmula anterior más los datos obtenidos en laboratorio los resultados de la densidad aparente suelta fueron los siguientes:

Tabla 4.5. Densidad aparente suelta de la grava.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Volumen (cm^3)	5.033	5.033	5.033	5.033
Masa (kg)	7,717	7,562	7,642	7,640
ρ_{as} (kg/m^3)	1.533	1.502	1.517	1.518

(Fuente. Elaboración propia)

- **Densidad aparente compactada (ρ_{ac})**

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

Siendo:

mc = masa del árido compactado que llena la medida (kg)

v = capacidad volumétrica de la medida (m^3)

Según la fórmula anterior más los datos obtenidos en laboratorio los resultados de la densidad aparente compactada fueron los siguientes:

Tabla 4.6. Densidad aparente compactada de la grava.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Volumen (cm ³)	5.033	5.033	5.033	5.033
Masa (kg)	8,176	8,094	8,134	8,135
ρ_{ac} (kg/m ³)	1.624	1.608	1.614	1.616

(Fuente. Elaboración propia)

- **Densidad real, neta y absorción de agua de las gravas**

a) Densidad real del árido saturado superficialmente seco (ρ_{RT})

$$\rho_{RT} = \frac{B}{B - A} * 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

b) Densidad real del árido seco (ρ_{RS})

$$\rho_{RS} = \frac{C}{B - A} * 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

c) Densidad neta (ρ_N)

$$\rho_N = \frac{C}{C - A} * 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

d) Absorción de agua (a)

$$a = \frac{B - C}{C} * 100 \%$$

Siendo:

A = masa del árido saturado superficialmente seco menos la masa del agua desplazada (kg).

B = masa del árido saturado superficialmente seco (kg).

C = masa del árido seco (kg).

Tabla 4.7. Densidad real, neta y absorción de agua.

	Muestras (kg)				ρ_{RT}	ρ_{RS}	ρ_N	α
	1	2	3	Promedio	Densidad (kg/m ³)			%
A	0,315	0,322	0,318	0,318	2683,5	2647,1	2747,0	1,4
B	0,501	0,513	0,507	0,507				
C	0,494	0,506	0,500	0,500				

(Fuente. Elaboración propia)

4.5. Características de la arena

La granulometría de la arena está basada según la NCh 165 Of. 2009 “Áridos para morteros y hormigones – Tamizado y determinación de la granulometría. La norma establece que el tamaño de la muestra debe ser de 500 grs. Al igual que la grava, las muestras utilizadas para obtener las densidades fueron extraídas de las muestras para la granulometría.

4.5.1. Granulometría de la arena

Tabla 4.8. Muestra N°1 de la granulometría de la arena.

MUESTRA 1					
Tamiz	Peso Retenido			% Pasa	Requisito NCh 163 Of. 13
mm	Peso	% Retenido	% R. Acumulado		Banda Arena
10	0	0	0	100	100%
5	51,3	9	9	91	95% - 100%
2,5	143,9	25	35	65	80% - 100%
1,25	78,8	14	49	51	50% - 85%
0,63	46,6	8	57	43	25% - 60%
0,315	108,6	19	76	24	5% - 30%
0,16	110	19	96	4	0% - 10%
Residuo	25,4	4	100	0	
	564,6	100			

Masa final	564,6	Masa inicial	570,0	Error	0,95
------------	-------	--------------	-------	-------	------

(Fuente. Elaboración propia)

Tabla 4.9. Muestra N°2 de la granulometría de la arena.

MUESTRA 2

Tamiz mm	Peso Retenido			% Pasa	Requisito NCh 163 Of. 13
	Peso	% Retenido	% R. Acumulado		Banda Arena
10	0	0	0	100	100%
5	36,1	6	6	94	95% - 100%
2,5	124,8	21	27	73	80% - 100%
1,25	79	13	40	60	50% - 85%
0,63	52,5	9	49	51	25% - 60%
0,315	133,9	23	72	28	5% - 30%
0,16	133,1	22	94	6	0% - 10%
Residuo	33,5	6	100	0	
	592,9	100			

Masa final	592,9	Masa inicial	599,3	Error	1,07
------------	-------	--------------	-------	-------	------

(Fuente. Elaboración propia)

Tabla 4.10. Muestra N°3 de la granulometría de la arena.

MUESTRA 3

Tamiz mm	Peso Retenido			% Pasa	Requisito NCh 163 Of. 13
	Peso	% Retenido	% R. Acumulado		Banda Arena
10	0	0	0	100	100%
5	40,6	6	6	94	95% - 100%
2,5	129	19	26	74	80% - 100%
1,25	83,9	13	38	62	50% - 85%
0,63	58,6	9	47	53	25% - 60%
0,315	155,9	24	71	29	5% - 30%
0,16	154,1	23	94	6	0% - 10%
Residuo	40,7	6	100	0	
	662,8	100			

Masa final	662,8	Masa inicial	668,9	Error	0,91
------------	-------	--------------	-------	-------	------

(Fuente. Elaboración propia)

Tabla 4.11. Promedio de las granulometrías de la arena.

PROMEDIO

Tamiz mm	% Pasa				Requisito NCh 163 Of. 13
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	Banda Arena
10	100%	100%	100%	100%	100%
5	91%	94%	94%	93%	95% - 100%
2,5	65%	73%	74%	71%	80% - 100%
1,25	51%	60%	62%	58%	50% - 85%
0,63	43%	51%	53%	49%	25% - 60%
0,315	24%	28%	29%	27%	5% - 30%
0,16	4%	6%	6%	5%	0% - 10%
Módulo de finura				2,97	

(Fuente. Elaboración propia)

Como se puede observar en la Tabla 4.11 la arena utilizada no cumple con la banda granulométrica de la NCh163 Of. 2013 en los tamices 5 y 2,5 mm, esto ocurre porque en estos tamices queda retenido demasiado material, lo cual no sería un gran problema al estar realizando hormigón ya que se puede compensar con la gravilla, por lo tanto como conclusión el material igual fue utilizado en la mezcla.

Por lo tanto para que la muestra de la arena cumpla con la condición granulométrica de la norma fue corregida, al realizar este procedimiento la muestra fallo solo en el tamiz de 5 mm como se puede observar en la siguiente tabla y gráfico:

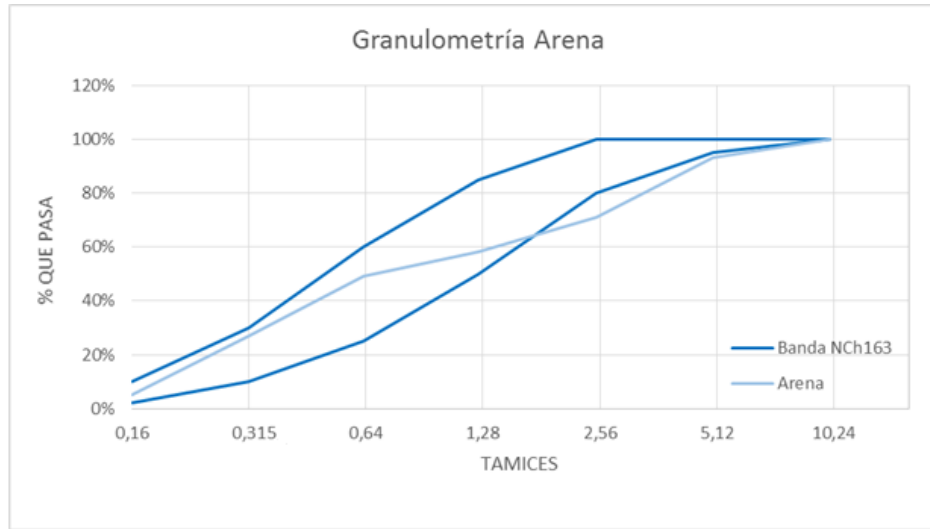
Tabla 4.12. Corrección de la granulometría de la arena.

PROMEDIO

Tamiz mm	% Pasa		Requisito NCh 163 Of. 13
	Promedio	Correccion	Banda Arena
10	100%	100%	100%
5	93%	100%	95% - 100%
2,5	71%	76%	80% - 100%
1,25	58%	62%	50% - 85%
0,63	49%	53%	25% - 60%
0,315	27%	29%	5% - 30%
0,16	5%	5%	0% - 10%
Módulo de finura		2,75	

(Fuente. Elaboración propia)

Figura 4.2. Gráfico de banda granulométrica de la arena corregida.



(Fuente. Elaboración propia)

4.6. Densidades de la arena

Para obtener la densidad aparente se realiza el mismo procedimiento de la gravilla en un recipiente de menor volumen según la NCh 1116 Of. 2008 para determinar la densidad real, neta y absorción de agua se utiliza la NCh 1239 Of. 2009, las muestras utilizadas son las mismas que fueron escogidas para la granulometría.

- **Densidad aparente suelta (ρ_{as})**

$$\rho_{as} = \frac{ms}{v} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

Siendo:

ms = masa del árido suelto que llena la medida (kg)

v = capacidad volumétrica de la medida (m^3)

Según la fórmula anterior más los datos obtenidos en laboratorio los resultados de la densidad aparente suelta fueron los siguientes:

Tabla 4.13. Densidad aparente suelta de la arena.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Volumen (cm ³)	1.040	1.040	1.040	1.040
Masa (kg)	1,611	1,644	1,646	1,634
ρ_{as} (kg/m ³)	1.549	1.581	1.583	1.571

(Fuente. Elaboración propia)

- **Densidad aparente compactada (ρ_{ac})**

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

Siendo:

 mc = masa del árido compactado que llena la medida (kg) v = capacidad volumétrica de la medida (m³)

Según la fórmula anterior más los datos obtenidos en laboratorio los resultados de la densidad aparente compactada fueron los siguientes:

Tabla 4.14. Densidad aparente compactada de la arena.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Volumen (cm ³)	1.040	1.040	1.040	1.040
Masa (kg)	1,774	1,774	1,792	1,780
ρ_{ac} (kg/m ³)	1.706	1.706	1.723	1.712

(Fuente. Elaboración propia)

- **Densidad real, neta y absorción de agua de las gravas**

a) Densidad real del árido saturado superficialmente seco ($\rho_{R_{SSS}}$)

$$\rho_{R_{SSS}} = \frac{m_{SSS}}{M_a + m_{SSS} - M_n} * 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

b) Densidad real del árido seco (ρ_{RS})

$$\rho_{RS} = \frac{ms}{Ma + msss - Mm} * 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

c) Densidad neta (ρ_N)

$$\rho_N = \frac{ms}{Ma + ms - Mm} * 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

d) Absorción de agua (a)

$$a = \frac{msss - ms}{ms} * 100 \%$$

Siendo:

ms = masa de la muestra seca, g.

msss= masa de la muestra saturada superficialmente seca, g.

Ma= masa del matraz con agua hasta la marca de calibración, g.

Mm= masa del matraz con la muestra más agua hasta la marca de calibración, g.

Según las formulas indicadas y los análisis realizados en laboratorio los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 4.15.Densidad real, neta y absorción de agua de la arena.

	Muestras (kg)				ρ_{Rsss}	ρ_{RS}	ρ_N	a
	1	2	3	Promedio				
msss	0,100	0,100	0,100	0,100	2564,7	2564,7	2676,3	1,63
Ma	0,659	0,659	0,658	0,658				
Mm	0,720	0,720	0,721	0,720				
ms	0,099	0,098	0,098	0,098				

(Fuente. Elaboración propia)

4.7. Características del caucho

Para la elaboración del proyecto se emplean tres tamaños distintos, identificados como fino, medio y grueso, los cuales son combinados al momento de agregarlos a la mezcla de hormigón en distintos porcentajes reemplazando el contenido de arena.

Es por esto que los ensayos realizados al material son los mismos de la arena, con la diferencia que las muestras no son secadas en el horno. Por lo tanto las normas utilizadas son NCh 1239 Of. 2009 - Determinación de las densidades real y neta de la absorción de gua de las arenas y NCh 1116 Of 2008 – Determinación de la densidad aparente.

4.7.1. Granulometrías del caucho

a. Granulometría tamaño polvo

Tabla 4.16. Muestra N°1 de la granulometría del caucho tamaño polvo.

MUESTRA 1

Tamiz mm	Peso Retenido			% Pasa
	Peso	% Retenido	% R. Acumulado	
1,25	0	0	0	100
0,63	72,5	43	43	57
0,315	69,2	41	84	16
0,16	20,3	12	96	4
Residuo	6,6	4	100	0
	168,6	100		

Masa final	168,6	Masa inicial	169,2	Error	0,35
------------	-------	--------------	-------	-------	------

(Fuente. Elaboración propia)

Tabla 4.17. Muestra N°2 de la granulometría del caucho tamaño polvo.

MUESTRA 2

Tamiz mm	Peso Retenido			% Pasa
	Peso	% Retenido	% R. Acumulado	
1,25	0	0	0	100
0,63	86,2	39	39	61
0,315	91,4	41	81	19
0,16	35,3	16	97	3
Residuo	7,5	3	100	0
	220,4	100		

Masa final	220,4	Masa inicial	221,0	Error	0,27
-------------------	-------	---------------------	-------	--------------	------

(Fuente. Elaboración propia)

Tabla 4.18. Muestra N°2 de la granulometría del caucho tamaño polvo.

MUESTRA 3

Tamiz mm	Peso Retenido			% Pasa
	Peso	% Retenido	% R. Acumulado	
1,25	0	0	0	100
0,63	60,5	41	41	59
0,315	62,6	42	83	17
0,16	19,3	13	96	4
Residuo	5,2	4	100	0
	147,6	100		

Masa final	147,6	Masa inicial	148,8	Error	0,81
-------------------	-------	---------------------	-------	--------------	------

(Fuente. Elaboración propia)

Tabla 4.19. Promedio de las muestras de granulometría del caucho tamaño polvo.

PROMEDIO

Tamiz mm	% Pasa			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
1,25	100	100	100	100
0,63	57	61	59	59
0,315	16	19	17	17
0,16	4	3	4	4
Modulo de finura				2,2

(Fuente. Elaboración propia)

b. Granulometría tamaño fino

Tabla 4.20. Muestra N°1 de la granulometría del caucho tamaño fino.

MUESTRA 1

Tamiz mm	Peso Retenido			% Pasa
	Peso	% Retenido	% R. Acumulado	
5	0	0	0	100
2,5	3,84	1	1	99
1,25	421,8	72	73	27
0,63	142,08	24	98	2
0,315	12,36	2	100	0
0,16	0,84	0	100	0
Residuo	1,08	0	100	0
	582	100		

Masa final	582,0	Masa inicial	584,2	Error	0,37
------------	-------	--------------	-------	-------	------

(Fuente. Elaboración propia)

Tabla 4.21. Muestra N°2 de la granulometría del caucho tamaño fino.

MUESTRA 2

Tamiz mm	Peso Retenido			% Pasa
	Peso	% Retenido	% R. Acumulado	
5	0	0	0	100
2,5	67,2	13	13	87
1,25	346,8	67	80	20
0,63	89,4	17	97	3
0,315	14	3	99	1
0,16	1,2	0	100	0
Residuo	1,6	0	100	0
	520,2	100		

Masa final	520,2	Masa inicial	521,0	Error	0,15
------------	-------	--------------	-------	-------	------

(Fuente. Elaboración propia)

Tabla 4.22. Muestra N°3 de la granulometría del caucho tamaño fino.

MUESTRA 3

Tamiz mm	Peso Retenido			% Pasa
	Peso	% Retenido	% R. Acumulado	
5	0	0	0	100
2,5	20	4	4	96
1,25	372,8	74	78	22
0,63	95	19	97	3
0,315	14	3	100	0
0,16	1,6	0	100	0
Residuo	0	0	100	0
	503,4	100		

Masa final	503,4	Masa inicial	504,6	Error	0,24
-------------------	-------	---------------------	-------	--------------	------

(Fuente. Elaboración propia)

Tabla 4.23. Promedio de las muestras de granulometría del caucho tamaño fino.

PROMEDIO

Tamiz mm	% Pasa			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
5	100	100	100	100
2,5	99	87	96	94
1,25	27	20	22	23
0,63	2	3	3	3
0,32	0	1	0	0
0,16	0	0	0	0
Modulo de finura				3,8

(Fuente. Elaboración propia)

c. Granulometría tamaño medio

Tabla 4.24. Muestra N°1 de la granulometría del caucho tamaño medio.

MUESTRA 1

Tamiz mm	Peso Retenido			% Pasa
	Peso	% Retenido	% R. Acumulado	
5	0	0	0	100
2,5	89,25	26	26	74
1,25	250,75	73	100	0
0,63	1,5	0	100	0
0,315	0	0	100	0
0,16	0	0	100	0
Residuo	0	0	100	0
	341,5	100		

Masa final	341,5	Masa inicial	344,0	Error	0,73
-------------------	-------	---------------------	-------	--------------	------

(Fuente. Elaboración propia)

Tabla 4.25. Muestra N°2 de la granulometría del caucho tamaño medio.

MUESTRA 2

Tamiz mm	Peso Retenido			% Pasa
	Peso	% Retenido	% R. Acumulado	
5	0	0	0	100
2,5	138,6	31	31	69
1,25	313	69	100	0
0,63	1,8	0	100	0
0,315	0	0	100	0
0,16	0	0	100	0
Residuo	0	0	100	0
	453,4	100		

Masa final	453,4	Masa inicial	454,2	Error	0,18
-------------------	-------	---------------------	-------	--------------	------

(Fuente. Elaboración propia)

Tabla 4.26. Muestra N°3 de la granulometría del caucho tamaño medio.

MUESTRA 3

Tamiz mm	Peso Retenido			% Pasa
	Peso	% Retenido	% R. Acumulado	
5	0	0	0	100
2,5	182	54	54	46
1,25	152,1	46	100	0
0,63	0	0	100	0
0,315	0	0	100	0
0,16	0	0	100	0
Residuo	0	0	100	0
	334,1	100		

Masa final	334,1	Masa inicial	336,0	Error	0,57
-------------------	-------	---------------------	-------	--------------	------

(Fuente. Elaboración propia)

Tabla 4.27. Promedio de las muestras de granulometría del caucho tamaño medio.

Tamiz mm	% Pasa			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
5	100	100	100	100
2,5	74	69	46	63
1,25	0	0	0	0
0,63	0	0	0	0
0,315	0	0	0	0
0,16	0	0	0	0
Modulo de finura				4,37

(Fuente. Elaboración propia)

d. Granulometría tamaño grueso

Tabla 4.28. Muestra N°1 de la granulometría del caucho tamaño grueso.

MUESTRA 2

Tamiz mm	Peso Retenido			% Pasa
	Peso	% Retenido	% R. Acumulado	
5	0	0	0	100
2,5	205,9	91	91	9
1,25	19,3	9	100	0
0,63	0,5	0	100	0
0,315	0	0	100	0
0,16	0	0	100	0
Residuo	0	0	100	0
	225,7	100		

Masa final	225,7	Masa inicial	226,200	Error	0,22
-------------------	-------	---------------------	---------	--------------	------

(Fuente. Elaboración propia)

Tabla 4.29. Muestra N°2 de la granulometría del caucho tamaño grueso.

MUESTRA 1

Tamiz mm	Peso Retenido			% Pasa
	Peso	% Retenido	% R. Acumulado	
5	0	0	0	100
2,5	235,7	92	92	8
1,25	18,7	7	100	0
0,63	1	0	100	0
0,315	0	0	100	0
0,16	0	0	100	0
Residuo	0	0	100	0
	255,4	100		

Masa final	255,4	Masa inicial	256,2	Error	0,3
-------------------	-------	---------------------	-------	--------------	-----

(Fuente. Elaboración propia)

Tabla 4.30. Muestra N°3 de la granulometría del caucho tamaño grueso.

MUESTRA 3

Tamiz mm	Peso Retenido			% Pasa
	Peso	% Retenido	% R. Acumulado	
5	0	0	0	100
2,5	223,5	90	90	10
1,25	23,9	10	100	0
0,63	0,6	0	100	0
0,315	0	0	100	0
0,16	0	0	100	0
Residuo	0	0	100	0
	248	100		

Masa final	248,0	Masa inicial	249,6	Error	0,64
-------------------	-------	---------------------	-------	--------------	------

(Fuente. Elaboración propia)

Tabla 4.31. Promedio de las muestras de granulometría del caucho tamaño grueso.

PROMEDIO

Tamiz mm	% Pasa			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
10	100	100	100	100
5	100	100	100	100
2,5	8	9	10	9
1,25	0	0	0	0
0,63	0	0	0	0
0,315	0	0	0	0
0,16	0	0	0	0
Modulo de finura				4,91

(Fuente. Elaboración propia)

Como resumen de las granulometrías del caucho en tamaño polvo, fino, medio y grueso, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4.32. Promedio de las muestras de granulometría del caucho tamaño polvo, fino, medio y grueso.

PROMEDIO

Tamiz mm	% Pasa			
	Polvo	Fino	Medio	Grueso
5	100	100	100	100
2,5	100	94	69	9
1,25	100	23	0	0
0,63	59	3	0	0
0,315	17	0	0	0
0,16	4	0	0	0

(Fuente. Elaboración propia)

Para la elaboración del hormigón las dosis de caucho escogidas son 36% de caucho tamaño polvo, 40% tamaño fino, 14% tamaño medio y 10% tamaño grueso. La mezcla óptima obtenida fue la siguiente:

Tabla 4.33. Dosis de caucho en tamaño polvo, fino, medio y grueso.

PROMEDIO

Tamiz mm	Porcentaje que pasa, en peso					Requisito NCh 163 Of.13
	Polvo	Fino	Medio	Grueso	Mezcla	
5	100	100	100	100	100	95% - 100%
2,5	100	94	69	9	85	80% - 100%
1,25	100	23	0	0	45	50% - 85%
0,63	59	3	0	0	22	25% - 60%
0,315	17	0	0	0	6	5% - 30%
0,16	4	0	0	0	1	0% - 10%

(Fuente. Elaboración propia)

4.7.2. Densidades del caucho

Para obtener la densidad aparente del caucho se utiliza la NCh 1116 Of. 2008 con el mismo recipiente que se usó para las arenas y para determinar la densidad neta se utilizó la NCh 1239 Of. 2009. Las muestras utilizadas son las mismas que fueron escogidas para la granulometría.

- **Densidad aparente suelta (ρ_{as})**

$$\rho_{as} = \frac{ms}{v} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

Siendo:

ms = masa del árido suelto que llena la medida (kg)

v = capacidad volumétrica de la medida (m^3)

Según la fórmula anterior más los datos obtenidos en laboratorio del caucho en tamaño fino, medio y grueso, se obtuvieron los siguientes resultados de la densidad aparente suelta:

Tabla 4.34. Densidad aparente suelta del caucho tamaño polvo.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Volumen (cm^3)	1.040	1.040	1.040	1.040
Masa (kg)	0,378	0,377	0,378	0,378
ρ_{as} (kg/m^3)	363	362	363	363

(Fuente. Elaboración propia)

Tabla 4.35. Densidad aparente suelta del caucho tamaño fino.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Volumen (cm^3)	1.040	1.040	1.040	1.040
Masa (kg)	0,476	0,490	0,488	0,485
ρ_{as} (kg/m^3)	458	471	469	466

(Fuente. Elaboración propia)

Tabla 4.36. Densidad aparente suelta del caucho tamaño medio.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Volumen (cm^3)	1.040	1.040	1.040	1.040
Masa (kg)	0,479	0,499	0,497	0,492
ρ_{as} (kg/m^3)	461	480	478	473

(Fuente. Elaboración propia)

Tabla 4.37. Densidad aparente suelta del caucho tamaño grueso.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Volumen (cm ³)	1.040	1.040	1.040	1.040
Masa (kg)	0,465	0,455	0,451	0,457
ρ_{as} (kg/m ³)	447	438	434	439

(Fuente. Elaboración propia)

- **Densidad aparente compactada (ρ_{ac})**

$$\rho_{ac} = \frac{mc}{v} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

Siendo:

 mc = masa del árido compactado que llena la medida (kg) v = capacidad volumétrica de la medida (m³)

Según la fórmula anterior más los datos obtenidos en laboratorio del caucho en tamaño fino, medio y grueso, se obtuvieron los siguientes resultados de la densidad aparente suelta:

Tabla 4.38. Densidad aparente compactada del caucho tamaño polvo.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Volumen (cm ³)	1.040	1.040	1.040	1.040
Masa (kg)	0,445	0,430	0,440	0,438
ρ_{ac} (kg/m ³)	428	413	423	421

(Fuente. Elaboración propia)

Tabla 4.39. Densidad aparente compactada del caucho tamaño fino.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Volumen (cm ³)	1.040	1.040	1.040	1.040
Masa (kg)	0,536	0,540	0,540	0,539
ρ_{ac} (kg/m ³)	515	519	519	518

(Fuente. Elaboración propia)

Tabla 4.40. Densidad aparente compactada del caucho tamaño medio.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Volumen (cm ³)	1.040	1.040	1.040	1.040
Masa (kg)	0,561	0,549	0,559	0,556
ρ_{ac} (kg/m ³)	539	528	538	535

(Fuente. Elaboración propia)

Tabla 4.41. Densidad aparente compactada del caucho tamaño grueso.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Volumen (cm ³)	1.040	1.040	1.040	1.040
Masa (kg)	0,535	0,521	0,529	0,528
ρ_{ac} (kg/m ³)	514	501	509	508

(Fuente. Elaboración propia)

4.8. Dosificación de la experiencia

4.8.1. Generalidades sobre los métodos de dosificación

La versatilidad en la construcción del hormigón y las exigencias técnicas llevaron a investigadores a realizar diversos métodos de dosificación de materiales para así obtener un hormigón con las características que se necesitasen en cada caso, es por este motivo que hoy en día no solo existe un método de dosificación sino varios (Meininger, 1982).

Dentro de los métodos utilizados para la dosificación de hormigones en el país se encuentran el método Faury, el método Valette, el método ACI y el método IDIEM.

Todos estos métodos buscan el mismo objetivo, el cual es lograr establecer las dosis de materiales lo más precisas posibles ya sea mediante métodos prácticos, racionales o empíricos para lograr un hormigón de buena calidad que cumpla con las exigencias que se le presenten.

Una buena dosificación logra que un hormigón sea trabajable para las condiciones que estará expuesto, que posea una resistencia suficiente para las exigencias requerida en el proyecto, tenga una máxima compacidad, entre otras características.

4.8.2. Elección del método de dosificación

Como se ha mencionado existen diversos métodos de dosificación para obtener un adecuado hormigón, donde cualquiera de estos es recomendable; sin embargo, el método seleccionado para el proyecto es el método IDIEM, ya que es un método comúnmente utilizado, es simple, rápido, experimentado y eficaz para la dosificación de hormigones en masa, armado, prefabricado, etc.

4.8.3. Generalidades del método IDIEM

El método IDIEM consiste en determinar mediante mezclas granulométricas teóricas la proporción en que se deben ser mezclados los áridos disponibles.

Luego de obtener las dosis necesarias de los áridos, las dosis de los materiales restantes (cemento, Agua) se obtienen a partir de tablas empíricas proporcionadas por el método.

En el método IDIEM se consideran aspectos como resistencia media requerida, condiciones previstas en la ejecución de la obra, densidad del hormigón, entre otros.

4.8.4. Dosificación mediante el método IDIEM

Para diseñar las mezclas de hormigón se realizaron las dosificaciones considerando los siguientes parámetros de dosificación:

- Dosis de cemento Muestra 1: 180 kg/m³
- Dosis de cemento Muestra 2: 240 kg/m³
- Dosis de cemento Muestra 3: 300 kg/m³
- Tamaño máximo de árido: 12,5 mm.
- Asentamiento de cono: 2 cm.
- Tipo de cemento: Corriente.
- Condiciones de ejecución: Buenas.
- Árido grueso: 38 %.
- Árido fino: 62 %.
- Caucho grueso: 10%
- Caucho medio: 14%
- Caucho fino: 40%
- Caucho polvo: 36%
- ρ_{RSS} - grava: 2,68 kg/m³.
- ρ_{RSS} - arena: 2,56 kg/m³.
- Densidad ponderada del caucho: 427,2 kg/m³

A través de los parámetros mencionados se puede realizar la dosificación mediante las siguientes tablas empíricas otorgadas por el método IDIEM.

Tabla 4.42. Estimación del peso de un metro cubico de hormigón fresco compactado.

Tipo de Hormigón	T máx. del árido pulg.	Peso del Hormigón Kg/m ³	
		Vibrado	Apisonado
Simple Cemento ≤ 200 kg/m ³	1 1/2" - 2 1/2"	2.450	2.400
Simple Cemento > 200 kg/m ³	1 1/2" - 2 1/2"	2.470	2.450
Aceras	3/4" - 1 1/2"	2.460	2.430
Armado en general	3/8" - 3/4"	2.480	2.460
Armado en general	1 1/2" - 2 1/2"	2.490	2.470
Calzadas	1 1/2" - 2 1/2"	2.500	-
Prefabricados	3/8" - 3/4"	2.490	-

(Fuente. IDIEM)

Para la determinar la densidad del hormigón fresco se consideró la Tabla 4.41 donde menciona que para un hormigón simple de cemento de resistencia menor a 220 Kg/m³ el peso del hormigón va a variar entre 2.450 Kg/m³ y 2400 Kg/m³, por lo tanto la densidad considerada será de 2.440 Kg/m³ ya que será un hormigón en la segunda etapa elaborado mediante una maquina compactadora a compresión.

Tabla 4.43. Dosis de agua, en función de la dosis de cemento.

Dosis de cemento Kg/m ³	Agua de amasado lt/m ³
260	167
290	172
310	176
340	180
370	184
400	188
430	192
460	194

(Fuente. IDIEM)

Mediante la Tabla 4.41 se obtiene la dosis necesaria de agua para la elaboración de hormigón, interpolando los datos de la tabla con las dosis de cemento correspondientes a cada mezcla, los resultados obtenidos son 160 kg/m³ de agua para la mezcla de 180 kg/m³ de cemento, 170 kg/m³ de agua para la mezcla de 240 kg/m³ de cemento y finalmente 180 kg/m³ de agua para la mezcla de 300 kg/m³ de cemento. Cabe mencionar que estos son solo valores estimativos para la dosificación ya que el agua aplicada al hormigón fue por tandeo hasta obtener el cono 2.

Con los datos completos se reemplaza formula general de dosificación:

$$\text{Arena} + \text{Grava} + \text{Agua} + \text{Cemento} = 2440 \text{ kg/m}^3$$

Entonces al reemplazar en la formula anterior se obtiene los hormigones de cada mezcla a realizar, los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 4.44. Dosificación de los hormigones.

	Mezcla A	Mezcla B	Mezcla C
	Cantidades / m ³	Cantidades / m ³	Cantidades / m ³
Agua (lt)	160	170	180
Cemento (kg)	180	240	300
Arena (kg)	1302	1259	1215
Grava (kg)	798	771	745
Densidad Hormigón	2440 (kg/m³)		

(Fuente. Elaboración propia)

4.8.5. Dosificaciones por mezcla de hormigón

Ya calculado el hormigón patrón para cada mezcla fue necesario reemplazar el caucho por la arena en los distintos porcentajes.

A continuación se mostrara el proceso que se llevó a cabo para lograr sustituir el caucho por la arena en el hormigón. Esta sustitución se realizó llevando la dosificación de los hormigones patrón a volumen aparente con las densidades aparentes de los materiales. Luego se sustituyó el porcentaje de caucho en función del tipo de hormigón.

Las metodologías utilizadas fueron para sustituir en un 10%, 20% y 30% de caucho por la arena en las mezclas fueron las siguientes:

- Volumen aparente de la arena (m³) = Peso de la arena / Densidad de la arena.
- Volumen aparente del caucho (m³) = Vol. aparente de la arena * Porcentaje a reemplazar.
- Densidad ponderada del caucho (kg/m³) = Σ (Densidad del caucho * Porcentaje a reemplazar).
- Peso del caucho (kg) = Volumen aparente del caucho * Densidad ponderada del caucho.

e) Volumen final de la arena (m^3) = Volumen aparente de la arena – Volumen aparente del caucho.

f) Peso final de la arena (kg) = Volumen final de la arena * Densidad de la arena.

Tabla 4.45. Dosificación para 0,01 m^3 de hormigón, en kg.

Hormigón Tipo	Agua	Cemento	Arena	Grava	Caucho (kg/m^3)			
					Grueso	Medio	Fino	Polvo
HC-10A	1,6	1,8	11,72	7,98	0,0354	0,0496	0,1416	0,1275
HC-20A	1,6	1,8	11,33	7,98	0,0342	0,0479	0,1369	0,1232
HC-30A	1,6	1,8	10,94	7,98	0,033	0,0463	0,1322	0,119
HC-10B	1,7	2,4	10,42	7,71	0,0708	0,0991	0,2832	0,2549
HC-20B	1,7	2,4	10,07	7,71	0,0684	0,0958	0,2738	0,2464
HC-30B	1,7	2,4	9,72	7,71	0,0661	0,0925	0,2644	0,2379
HC-10C	1,8	3,0	9,11	7,45	0,1062	0,1487	0,4249	0,3824
HC-20C	1,8	3,0	8,81	7,45	0,1027	0,1437	0,4107	0,3696
HC-30C	1,8	3,0	8,51	7,45	0,0991	0,1388	0,3965	0,3569

(Fuente. Elaboración propia)

Siendo:

A: Mezcla de hormigón considerando una dosis de 180 kg/m^3 .

B: Mezcla de hormigón considerando una dosis de 240 kg/m^3 .

C: Mezcla de hormigón considerando una dosis de 300 kg/m^3 .

HC: Hormigón con caucho.

De acuerdo a la metodología planteada anteriormente se realizó el reemplazo del caucho en los diferentes tipos de hormigón, considerando un total de 10 litros por cada mezcla, los cuales fueron contemplados para la realización de la primera etapa del proyecto.

4.9. Primera etapa

A continuación se dará a conocer de forma ordenada y secuencial cada uno de los procedimientos realizados para la fabricación de los hormigones de la primera etapa detallando de forma simple, gráfica y explicativa cada uno de los procesos realizados en el laboratorio de hormigones de la Escuela de Construcción, etapas para su fabricación, cuidado, control, preparación, acondicionamiento, ensayo y análisis de las probetas correspondientes.

4.9.1. Confección de lo hormigones

En la elaboración de los hormigones influyen distintas etapas, las cuales son detalladas en forma secuencial a continuación.

a) Muestras de los áridos

Los áridos utilizados fueron acopiados en el patio del laboratorio de hormigones, cubiertos con polietileno que los mantuvo protegidos de agentes externos. A pesar de esto es inevitable que estos sufran cambios en su contenido de humedad.

Para comenzar con la fabricación del hormigón fue necesario conocer el contenido de humedad en estos ya que en las dosificaciones consideran los áridos en estado seco, esto se llevó a cabo mediante la extracción de muestras representativas de grava y arena en los acopios 24 horas antes del proceso de mezclado y sometióndolas a secado en un horno a 110 °C.

El porcentaje de humedad en los áridos se obtiene a partir de la siguiente razón:

$$H = \frac{(Ph - Ps)}{Ps} * 100$$

Donde:

H: Porcentaje de humedad contenido en los áridos.

Ph: Peso húmedo del árido de la muestra.

Ps: Peso seco del árido de la muestra.

Finalmente los áridos son corregidos en función de la diferencia entre la absorción obtenida en la caracterización de los materiales y la humedad obtenida.

b) Preparación de las probetas

Previamente a la confección de las mezclas de hormigón, se inspeccionó que cada uno de los moldes cúbicos que se utilizaron cumplan con las tolerancias establecidas en la NCh 1017 Of. 75.

Antes de ser llenados con la mezcla los moldes se limpian dejando las caras interiores lo más lisas posible luego se aplica un desmoldante, debe ser de acuerdo a probeta metálica utilizada para que en el proceso del desmolde no se dañen las probetas.

c) Preparación y mezclado del hormigón

Los hormigones de la primera etapa fueron fabricados en el laboratorio de hormigones de la Escuela de Construcción. Su elaboración fue mediante tres coladas por día correspondientes a cada tipo de hormigón (Mezclas A, B y C) de forma manual, ya que cada

dosis por mezcla era de 10 litros lo cual no era suficiente para llenar el contenido mínimo de la betonera por lo tanto no lograba homogeneizar bien el hormigón. En este proceso se sigue lo especificado en la NCh 1018 Of 77 Hormigón – Preparación de mezclas de prueba en laboratorio.

La elaboración de los hormigones inicio con el pesaje de los materiales evitando cualquier intervalo de error, teniendo todos los materiales pesados con sus respectivas correcciones se procedió a mezclarlos agregando los áridos de grueso a fino. Primero se revolvió la grava con la arena, luego se incorporó el caucho y el cemento logrando una mezcla homogénea en estado seco. Finalmente se agregó el agua de amasado.

d) Ensayo de docilidad de las mezclas

Como el hormigón es para la fabricación de ladrillos en una maquina compactadora a compresión se determinó que la mezcla debe ser seca, lo que se traduce en un asentamiento de cono de Abrams menor o igual a 2 centímetros. Por lo tanto este ensayo fue de gran importancia en la elaboración del hormigón para determinar las dosis de agua necesaria por mezclas, el procedimiento, alcances y metodología de aplicación se establecen en la NCh 1019 Of. 74.

La incorporación de agua de amasado en la mezcla se fue realizando en dosis de 200 ml hasta lograr una mezcla homogénea y se ejecutó el ensayo con el cono de Abrams cuando se consideró necesario para lograr el asentamiento deseado de 2 cms en cada mezcla si este no cumplía se agregaba más agua a la mezcla y se realizaba el ensayo nuevamente hasta obtener el asentamiento deseado.



Figura 4.3. Ensayo Cono de Abrams.

(Fuente. Elaboración propia)

e) Llenado, desmolde y curado de las probetas

El llenado de las probetas se realiza según la NCh 170 Of. 1985, en moldes cúbicos de 15 cm. Son 3 probetas por tipo de hormigón.

Para su compactación se utilizó un vibrador de inmersión. Cuando se llenó el molde se introdujo el vibrador en el centro de este y a los lados en el exterior, se compactó hasta que afloró la lechada, luego se aliso la superficie con una llana.

El desmolde depende del cemento a utilizar, en el caso del cemento corriente se esperó 24 horas, teniendo cuidado de no golpear la probeta para no producir imperfecciones en su geometría que vayan a afectar el área que recibe la carga en la ejecución del ensayo.



Figura 4.4. Llenado de probetas.

(Fuente. Elaboración propia)

Respecto al curado de las probetas de hormigón con caucho reciclado, fue del tipo húmedo, por inmersión de las probetas en piscina de curado. El curado o el periodo de inmersión de las probetas fueron de 28 días, una vez cumplido este plazo se retiraron y prepararon las probetas para el ensayo de resistencia a la compresión.



Figura 4.5. Probetas en la piscina de curado.

(Fuente. Elaboración propia)

4.10. Ensayos y resultados, primera etapa

4.10.1. Resistencia a la compresión

A continuación se dará fin al último objetivo correspondiente a la primera etapa, el cual fue determinar la mezcla más conveniente de hormigón en relación al ensayo de resistencia a la compresión de las probetas, se fabricaron probetas cubicas de 15 (cms.) para los distintos tipos de hormigones diseñados, logrando un total de 9 probetas.

El ensayo se realizó según lo indicado en la NCh 1037 Of. 2009, las probetas fueron retiradas del curado inmediatamente antes del ensayo a los 28 días, se midieron los anchos de las cuatro caras laterales del cubo, se determinó la masa y se procedió a colocar el cubo con la cara de llenado verticalmente alineada y centrada en la máquina, procurando que las superficies de contacto estuvieran limpias.

En la Figura 4.6 se puede observar la realización del ensayo en los laboratorios de hormigón de la universidad.



Figura 4.6. Máquina para ensayo de compresión.

(Fuente. Elaboración propia)

4.10.2.Resultados ensayo de compresión

En la Tabla 4.44 se expresan las cargas máximas, resistencias máximas y variaciones de resistencias de acuerdo a cada mezcla realizada.

Tabla 4.46. Resultados ensayo de compresión.

Hormigón Tipo	Peso kgs	Carga Máxima Kn	Resistencia Máxima MPa	Resistencia Kgf/cm2	Variación %
HC-10A	7,416	108,393	4,754	48,491	100
HC-20A	7,254	107,289	4,694	47,879	99
HC-30A	7,624	88,598	3,911	39,892	82
HC-10B	7,588	164,347	7,232	73,766	100
HC-20B	7,382	131,636	5,773	58,885	80
HC-30B	7,310	93,759	4,098	41,800	57
HC-10C	7,664	273,816	12,089	123,308	100
HC-20C	7,444	190,890	8,372	85,394	69
HC-30C	7,315	158,250	6,964	71,033	58

(Fuente. Elaboración propia)

Los resultados de este ensayo muestran que hay variaciones en la resistencia a compresión de los hormigones, a medida que se aumenta el porcentaje de caucho disminuye la resistencia, obteniendo una baja considerable al agregar un 30 % de caucho en las mezclas B y C.

Además se puede observar la disminución del peso en las probetas de las mezclas A y C a medida que aumenta el porcentaje de caucho en ellas.

Obtenidos los resultados de los ensayos a compresión se eliminaron inmediatamente las probetas HC – 10A, HC – 20A y HC – 30A, las con menor dosis de cemento, ya que afecto en los resultados de resistencia a la compresión.

Descartadas las mezclas de hormigón A, se complementó el ensayo de compresión con un análisis individual de las probetas, con el fin de observar la durabilidad de los ladrillos confeccionados.

El ensayo complementario consiste en golpear las probetas con un martillo para analizar cómo se van desintegrando, en la Figura 4.7 se puede observar el resultado luego de ser ensayadas, a pesar que algunas alcanzaban una resistencia a la compresión óptima, al momento de ser golpeadas se desintegraban fácilmente como en el caso de la probeta HC – 10B, por lo tanto esta fue descartada para la elaboración del ladrillo. Junto con las probetas anteriores se descartaron las probetas HC – 10C, HC – 20C y HC – 30C debido a que son las que poseen

mayor dosis de cemento por lo tanto el costo no sería el más conveniente al momento de fabricar los ladrillos.

Finalmente analizadas todas las probetas rigurosamente la mezcla óptima escogida es la HC – 20B, ya que obtuvo una resistencia a la compresión y porque al momento de realizar el segundo ensayo se mantuvo íntegra en su forma en comparación con las otras probetas.

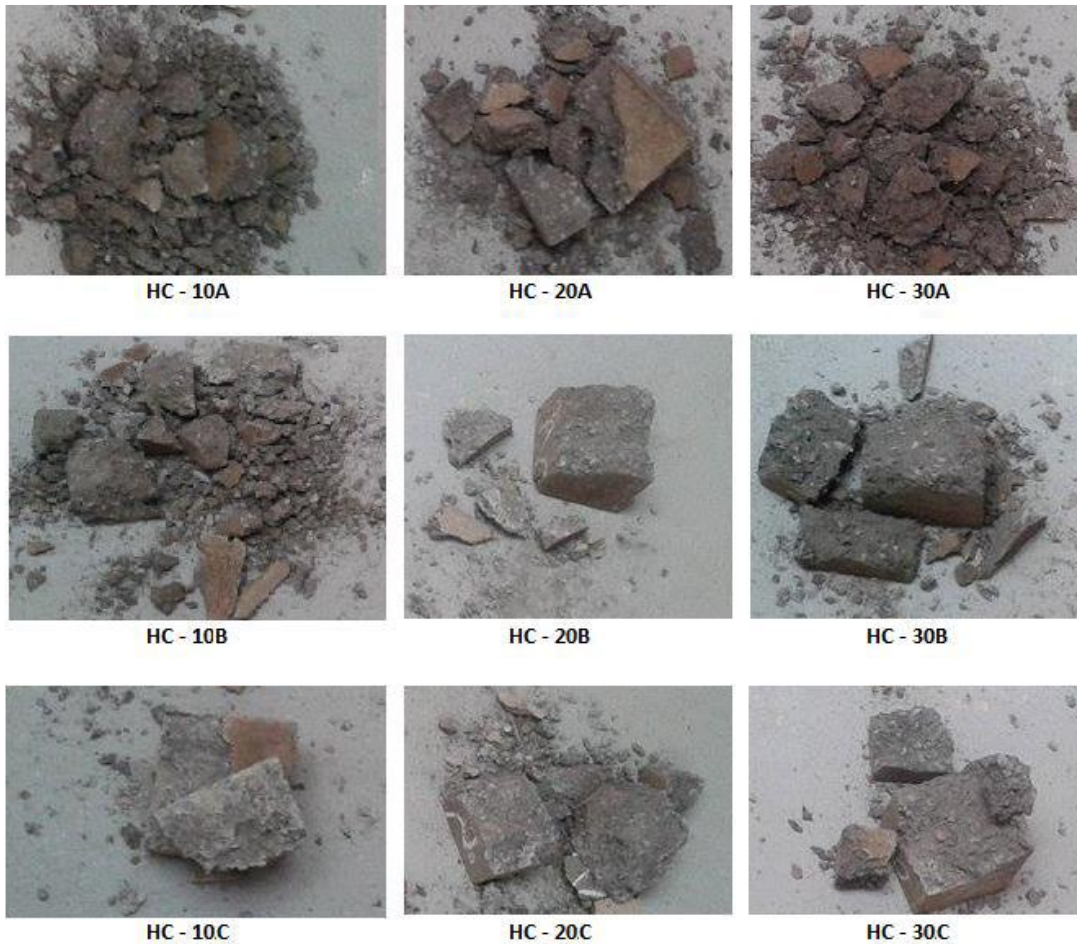


Figura 4.7. Probetas ensayadas.

(Fuente. Elaboración propia)

4.11. Elaboración de los ladrillos, segunda etapa

4.11.1 Generalidades

En el siguiente punto se dará a conocer de forma secuencial cada uno de los procedimientos que fueron realizados para la elaboración de los ladrillos macizos de hormigón con caucho, en la primera etapa se determinó la dosificación del hormigón y porcentaje de caucho a utilizar.

Los ladrillos de hormigón con caucho reciclado serán comparados con ladrillos fiscales, los cuales son elaborados de forma artesanal.

Para determinar las dimensiones y comprobar la forma de los ladrillos se utilizó la NCh 168 Of 2001. Se realizó una medición individual de las caras de los ladrillos para determinar largo, ancho y altura de estos. En la Figura 4.8 se observa la descripción del ladrillo.

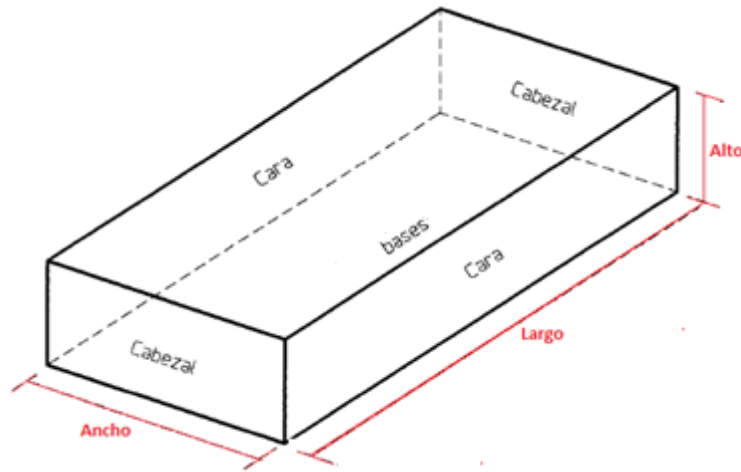


Figura 4.8. Descripción del ladrillo.

(Fuente. Elaboración propia)

También se utilizó la NCh 167 Of. 2001 donde se establecen los procedimientos para los ensayos de resistencia a la compresión, absorción de agua, adherencia de cizalle y succión de los ladrillos.

4.11.2. Etapas previas

En la primera etapa se determinó la mezcla óptima para la elaboración de los ladrillos, la mezcla escogida fue la B con la adición de un 20% de caucho. En la Tabla 4.45 se puede observar la dosificación más conveniente.

Tabla 4.47. Dosificación escogida.

Mezcla B			
Cantidades / m ³			
Agua (Lt)	170	Grueso (Kg)	6,84
Cemento (Kg)	240	Medio (Kg)	9,58
Arena (kg)	1007	Fino (Kg)	27,38
Grava (kg)	771	Polvo (Kg)	24,64

(Fuente. Elaboración propia)

A diferencia de la primera etapa, en esta el hormigón para los ladrillos se fabricó en betonera debido a que la cantidad a utilizar es superior, se fabricaron 118 litros de hormigón en 4 coladas. El orden para agregar los materiales fue el mismo que en la primera etapa; primero grava, arena, caucho, cemento y finalmente el agua por tandeo realizando el ensayo de docilidad para obtener el cono de Abrams menor o igual a 2 cms y así obtener una buena compactación en la máquina de ladrillos.



Figura 4.9. Dosis de grava, arena y caucho y elaboración de hormigón en betonera.

(Fuente. Elaboración propia)

4.11.3. Elaboración de los ladrillos

Luego de hacer el hormigón y comprobar que el ensayo de docilidad cumpla con los requisitos exigidos se fabricaron los ladrillos. Para esto primero se aplicó desmoldante en la máquina para evitar que el ladrillo se pegara a las caras o se deformara debido al roce que se efectúa al compactarlo.

Después se puso un plástico en el fondo de la máquina para retirar el ladrillo compactado sin dañarlo, ya que se retiran de forma inmediata a diferencia que cuando se confeccionan en probetas y se retiran a las 24 horas.

Puesto el plástico se llena la maquina con el hormigón previamente pesado, se cierra la máquina y se compacto con la palanca de fuerza infinita.



Figura 4.10. Compactación del ladrillo.

(Fuente. Elaboración propia)

Ya compactado, se retiran las placas para cerrar la máquina y se presiona la palanca en sentido contrario para retirar el ladrillo de la máquina, este proceso se realizó con cuidado, ya que al subir muy rápido el ladrillo se desprenden las esquinas y afecta las dimensiones. En la Figura 4.11 se puede observar el ladrillo fabricado.



Figura 4.11. Máquina compactadora y ladrillo.

(Fuente. Elaboración propia)

Luego de sacar el ladrillo de la máquina, se procede a revisar sus dimensiones, planeidad de las caras bases, rectitud de las aristas y ortogonalidad de los ángulos externos. Finalizado esto se dejan los ladrillos en la piscina de curado por 28 días para luego ser ensayados.



Figura 4.12. Ladrillos elaborados con un 20% de caucho.

(Fuente. Elaboración propia)

5. Análisis y presentación de los resultados

5.1. Generalidades

En el presente capítulo se realizó una caracterización en base a las normativas correspondientes de los ladrillos artesanales de arcilla y los ladrillos elaborados.

La materia prima utilizada en la producción de los ladrillos es principalmente la arcilla, el cual está compuesto de sílice, alumina, agua y cantidades variables de óxidos de hierro y otros materiales alcalinos.

Para fabricar un ladrillo de arcilla de debe pasar por ciertos procesos los cuales se pueden resumir en maduración, tratamiento, humidificación, moldeado, secado, cocción y almacenaje.

En cambio la para la elaboración del ladrillo de hormigón con caucho reciclado se tuvo que pasar por la elaboración del hormigón, moldeado y curado.

Los ladrillos fueron ensayados según lo que indica la NCh 167 Of 2001 y los resultados de los ensayos son basados según los requisitos de albañilería confinada de acuerdo a la NCh 2123 Of. 1997 Mod. 2003.

5.2. Absorción de agua

Para este ensayo se utilizó una balanza y un recipiente de inmersión, además de un mínimo de 6 muestras.

Previo al ensayo se procedió a dejar la muestra mínima de ladrillos 24 horas antes del ensayo en el horno a 110 °C, luego fueron retirados asegurando que la diferencia de las pesadas consecutivas de las probetas no variara en más de un 0,1% de su peso, cuando el peso de la probeta era considerado constante se registraba como P1.



Figura 5.1. Secado en horno ladrillos cerámicos.

(Fuente. Elaboración propia)

Después se dejaron en la piscina de inmersión por 24 horas más como se puede observar en la Figura 5.2 y se retiraron, dejándolas estilar por 5 minutos aproximadamente, se les quito el agua superficial y se pesaron para obtener P2.



Figura 5.2. Inmersión total de los ladrillos elaborados.

(Fuente. Elaboración propia)

La absorción de cada ladrillo se calcula según la siguiente fórmula:

$$A = \frac{(P_2 - P_1)}{P_1} \times 100 (\%)$$

Donde:

A = Absorción de agua, en %.

P_1 = Masa del ladrillo seco, en kg.

P_2 = Masa del ladrillo saturado, en kg.

Los resultados obtenidos en los ensayos de absorción de agua fueron los siguientes:

Tabla 5.1. Ensayo de absorción de agua ladrillos cerámicos.

Probetas	Masa Ladrillo Seco (Kg)	Masa Ladrillo Saturado (Kg)	Absorción (%)
Probeta 1	3,242	3,859	19
Probeta 2	3,056	3,627	19
Probeta 3	3,099	3,678	19
Probeta 4	3,104	3,681	19
Probeta 5	3,061	3,633	19
Probeta 6	3,02	3,552	18
Promedio			18,8

(Fuente. Elaboración propia)

Tabla 5.2. Ensayo de absorción de agua ladrillos elaborados.

Probetas	Masa Ladrillo	Masa Ladrillo	Absorción
	Seco (gr)	Saturado (gr)	(%)
Probeta 1	5.014,5	5.433,9	8
Probeta 2	4.886,2	5.368,1	10
Probeta 3	5.071,6	5.460,4	8
Probeta 4	5.064,7	5.619,9	11
Probeta 5	5.008,6	5.438,5	9
Probeta 6	5.107,0	5.593,4	10
Promedio			9,3

(Fuente. Elaboración propia)

5.2.1. Análisis de los resultados absorción de agua

De acuerdo a los datos obtenidos, se puede observar que los ladrillos cerámicos poseen como promedio un 19% de absorción de agua y los ladrillos elaborados de hormigón con caucho reciclado de NFU tienen un promedio de 9%, de acuerdo a los datos recopilados se establece que ambos tipos de ladrillos se encuentran bajo el parámetro máximo que exige la norma para ladrillos fabricados a mano (Anexo B) de la Nch 2123 Of. 97 que estipula como máximo un 22% en peso de absorción de agua.

El porcentaje de absorción de los ladrillos además de servir para conocer el grado de cocción en el caso de los ladrillos cerámicos, además sirve para determinar si pueden ser utilizados en zonas lluviosas de máximo riesgo aparte de ser utilizada en muros interiores o exteriores.

En el caso de condiciones expuestas y situados en zonas donde sean visibles periodos prolongados de lluvia, se cuidara la elección del modelo de ladrillo, por lo que se aconseja utilizar ladrillos hidrófugos o modelos de baja absorción, ya que reducen las consecuencias negativas que pueden ocasionar los frecuentes aportes de agua sobre los mismos. Por otra parte se evitaran los aumentos de contenido de sal, una solución estará más concentrada cuando más baja sea la cantidad de agua contenida en el ladrillo, condicionando por tanto el coeficiente de absorción la concentración de la solución y por tanto el tiempo necesario para producirse la eflorescencia (Blanco, 2007).

En zonas de máximo riesgo se suele utilizar ladrillos con un porcentaje de absorción de agua menor a 6% esto puede ser en pavimentos, jardineras, etc. (Malpesa, 2003).

Para zonas que no son de máximo riesgo, pero que si se ven sometidas a cambios climáticos, se pueden utilizar en las fachadas de las edificaciones ladrillos (cara vista) con un

8% de absorción de agua, tienen prestaciones superiores a los ladrillos tradicionales hidrófugados, con absorciones superiores al 15%.

De acuerdo a los resultados obtenidos los ladrillos de hormigón con caucho reciclado de NFU con un promedio de 9% de absorción de agua se acercan bastante a la de los ladrillos para fachadas exteriores (8%) por lo tanto poseen ventajas sobre los ladrillos artesanales analizados.

Las ventajas aportadas son que poseen características similares a los ladrillos de zonas de máximo riesgo por lo cual pueden evitar patologías que puntualmente se pueden dar en las fachadas como lo son la eflorescencias, helacidad, manchas de humedad, etc. Además que el envejecimiento de los ladrillos es mínimo gracias a que no penetra la suciedad en él (Revista Promateriales, 2009).

5.3. Determinación de la succión

La succión es de gran importancia ya que al ser alta puede llevar a la deshidratación del mortero y en caso de tener una baja o nula succión imposibilita la adherencia mecánica del cemento hidratado en los poros de la superficie de colocación.

Los aparatos necesarios para este ensayo son una balanza, horno de secado, un recipiente y la cantidad mínima de probetas que son 6.

Previo al ensayo fueron secadas 24 horas las probetas en el horno, después se retiraron y se registró el peso del ladrillo seco, luego se midió el área de la cara de apoyo.

A continuación se llenó un recipiente nivelado de tal forma que el ladrillo quedara sumergido 3 milímetros aproximadamente, se dejó en esa posición durante un minuto y se retiró registrando el nuevo peso del ladrillo.



Figura 5.3. Ladrillo artesanal luego de la inmersión.

(Fuente. Elaboración propia)

La fórmula utilizada para determinar la succión del ladrillo es la siguiente:

$$S = \frac{P_2 - P_1}{A}$$

Donde:

S = succión, expresada en g/cm² x min, con precisión de 0,01 g/cm² x min.

P₁ = Peso del ladrillo antes de la inmersión, en g.

P₂ = Peso del ladrillo después de la inmersión, en g.

A = Área de la cara de apoyo del ladrillo, en cm².

Los resultados obtenidos en los ensayos de succión de los ladrillos artesanales y los modelos creados, son los siguientes:

Tabla 5.3. Ensayo de succión ladrillos cerámicos.

Probetas	Masa Ladrillo Seco (gr)	Masa Ladrillo Saturado (gr)	Succión (gr/cm ² x min)
Probeta 1	3.101,0	3.206,8	0,25
Probeta 2	3.240,9	3.358,2	0,28
Probeta 3	3.128,3	3.232,0	0,25
Probeta 4	3.085,9	3.183,6	0,23
Probeta 5	3.123,6	3.225,4	0,24
Probeta 6	3.005,4	3.103,1	0,23
Promedio			0,25

(Fuente. Elaboración propia)

Tabla 5.4. Ensayo de succión ladrillos elaborados.

Probetas	Masa Ladrillo Seco (gr)	Masa Ladrillo Saturado (gr)	Succión (gr/cm ² x min)
Probeta 1	5.154,2	5.197,5	0,11
Probeta 2	5.073,6	5.115,1	0,10
Probeta 3	5.098,5	5.143,9	0,11
Probeta 4	5.152,4	5.202,8	0,12
Probeta 5	5.028,2	5.100,3	0,17
Probeta 6	4.990,3	5.045,7	0,14
Promedio			0,13

(Fuente. Elaboración propia)

5.3.1. Análisis de los resultados de succión

La succión es la capacidad de imbibición de agua por capilaridad de un producto mediante inmersión parcial en un periodo corto de tiempo y tiene gran importancia en la adherencia del ladrillo con el mortero (IPC, 2008). Cuando son altos los valores de succión se pueden originar discontinuidades en la interface ladrillo – mortero, originando fisuras por las que pase el agua a través del muro en periodos de lluvia relativamente cortos, estos defectos se provocan por una deshidratación prematura del mortero, por no hidratar previamente los ladrillos antes de ser colocados.

Se recomienda en variadas investigaciones humedecer los ladrillos de forma previa a su colocación en obra, todos los que posean una succión superior a $0,10 \text{ gr/cm}^2 \times \text{min}$ y que la succión máxima para ladrillos en muros exteriores no sea superior a $0,45 \text{ gr/cm}^2 \times \text{min}$ (Blanco et al 2006).

En relación a los resultados obtenidos en el ensayo, se puede observar que los ladrillos artesanales poseen como promedio un $0,25 \text{ gr/cm}^2 \times \text{min}$ de succión y los ladrillos elaborados de hormigón con caucho reciclado de NFU bajan nuevamente a un promedio de $0,13 \text{ gr/cm}^2 \times \text{min}$. De acuerdo a los parámetros establecidos anteriormente ambos tipos de ladrillos deben ser humedecidos antes de la hidratación, para evitar futuras fallas en la unión de las piezas con el mortero.

5.4. Resistencia a la compresión

Para este ensayo fue necesario una prensa provista de rotula, son platos uniformes que garanticen una distribución uniforme de la carga en el ladrillo, una muestra mínima de seis unidades por modelo de ladrillo y una huincha de medir.

Antes de realizar el ensayo con el objetivo de lograr Planeidad y paralelismo en las caras de carga se aplicó un refrentado de acuerdo a la NCh 1172 Of. 1978.



Figura 5.4. Ladrillo artesanal con caras de carga refrentadas.

(Fuente. Elaboración propia)

Todos los ladrillos fueron ensayados a un esfuerzo normal, sin sobrepasar la velocidad de carga de 20 MPa/min, considerando que las muestras estuvieran secas (ambiente de laboratorio).



Figura 5.5. Ladrillo elaborado en máquina de ensayo.

(Fuente. Elaboración propia)

La resistencia a compresión de cada ladrillo se obtuvo al dividir la carga máxima por la superficie media de sus dos caras de apoyo, siendo expresada en MPa, en la Figura 5.6 se puede observar una probeta de ladrillo artesanal ensayada.

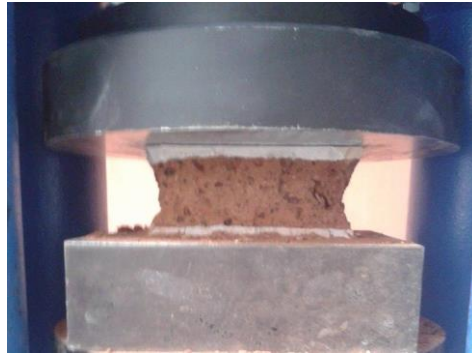


Figura 5.6. Ensayo de compresión a ladrillo cerámico.

(Fuente. Elaboración propia)

Los resultados del ensayo de resistencia a la compresión realizado a los ladrillos fueron los siguientes:

Tabla 5.5. Resistencia a la compresión ladrillos cerámicos.

Probetas	Carga Máxima Kn	Resistencia Máxima Saturado (gr)	Resistencia (Kgs/cm ²)
Probeta 1	195.409,0	9,0	91,6
Probeta 2	247.202,0	11,2	114,4
Probeta 3	186.442,0	8,7	89,2
Probeta 4	200.710,0	9,5	96,7
Probeta 5	256.456,0	12,6	128,9
Probeta 6	191.643,0	9,1	93,0
Promedio			102,3

(Fuente. Elaboración propia)

Tabla 5.6. Resistencia a la compresión ladrillos elaborados.

Probetas	Carga Máxima Kn	Resistencia Máxima Saturado (gr)	Resistencia (Kgs/cm ²)
Probeta 1	295.715,0	7,2	73,03
Probeta 2	266.611,5	6,5	66,32
Probeta 3	278.427,0	6,8	69,76
Probeta 4	341.186,0	8,3	84,26
Probeta 5	290.244,0	7,0	71,68
Probeta 6	309.806,9	7,6	77,62
Promedio			73,8

(Fuente. Elaboración propia)

5.4.1. Análisis de los resultados de resistencia a la compresión de los ladrillos

De acuerdo a los datos obtenidos, se puede observar que los ladrillos artesanales poseen elevada resistencia a la compresión en comparación con otros ensayos realizados al mismo, este resultado tener un promedio de 102,3 kg/cm² (Godoy,2010).

En el caso de los ladrillos elaborados de hormigón con caucho reciclado de NFU alcanzan un promedio de 73,78 kg/cm² que a pesar de estar bajo en relación al ladrillo cerámico analizado, su resistencia cumple con lo que exige la norma para ladrillos macizos fabricados a mano (Anexo B) de la NCh 2123 Of 97, superando las condiciones mínimas en un 84% sobre

la normativa que estipula una resistencia a la compresión mínima de 40 kgf/cm² (4,0 MPa) por lo tanto queda aprobado este ensayo.

5.5. Ensayo de adherencia de cizalle

Este ensayo determina la atracción físico-química entre la superficie del ladrillo y el mortero de pega. Para su realización se utilizó la misma prensa operada en el ensayo de resistencia a la compresión.

Se necesitaron 6 probetas compuestas por 3 unidades de ladrillos por ensayo pegados por un mortero normalizado, sumando un total de 18 unidades por modelo de ladrillo.

El mortero de pega utilizado para construir las probetas está compuesto por una mezcla de cemento y arena en proporción 1:3 en peso y con una razón agua/cemento de 0,60. Este fue confeccionado cumpliendo los requisitos de la NCh 163 Of. 2013 con arena de un tamaño máximo 2,5 mm.

Para comenzar con la elaboración de las probetas previamente se saturaron los ladrillos mediante una inmersión total en agua durante un periodo de a lo menos 30 minutos. Luego en una superficie plana y nivelada se extendió una capa de mortero sobre el ladrillo de unos 20 mm de espesor aproximadamente y se colocó el ladrillo central, ejerciendo presión uniformemente hasta lograr un espesor de junta de 10 mm. Después de una hora de espera se humecta la superficie del ladrillo central, se extiende la segunda capa de mortero y se coloca el último ladrillo de la probeta repitiendo el procedimiento anterior.

Terminada las probetas se dejaron en el laboratorio cubiertas con polietileno durante siete días, hasta el momento del ensayo.



Figura 5.7. Probetas para ensayo de adherencia ladrillo artesanal.

(Fuente. Elaboración propia)

Previamente al ensayo (72 horas antes), se realizó el refrentado de la base de apoyo inferior, cuidando que quedaran niveladas y con una capa que no fuera superior a 10 mm, al día siguiente se realizó el refrentado de la cara de apoyo superior.



Figura 5.8. Probetas para ensayo de adherencia ladrillo elaborado.

(Fuente. Elaboración propia)

Finalizado el proceso de elaboración de las probetas se comienza con el ensayo en la prensa, controlando que la velocidad de aplicación de la carga no exceda a 1 MPa por minuto.



Figura 5.9. Ensayo de adherencia a ladrillo elaborado.

(Fuente. Elaboración propia)

La fórmula utilizada para determinar la tensión de adherencia es la siguiente:

$$A = \frac{P}{S}$$

Donde:

A = Adherencia, en MPa.

P = Carga máxima, en N.

S = Área bruta total de las superficies de pega, en mm².

Los resultados del ensayo de adherencia de cizalle fueron los siguientes:

Tabla 5.7. Resultados ensayo de adherencia a ladrillos cerámicos.

Probetas	Carga Máxima	Superficies	Adherencia	
	Kn	mm ²	Mpa	Kgf/cm ²
Probeta 1	17.504,0	106.446,0	0,16	1,68
Probeta 2	16.428,0	105.678,0	0,16	1,59
Probeta 3	17.217,0	107.344,0	0,16	1,64
Probeta 4	21.431,0	103.550,0	0,21	2,11
Probeta 5	24.677,0	105.775,0	0,23	2,38
Probeta 6	20.552,0	105.726,0	0,19	1,98
Promedio			1,11	1,90

(Fuente. Elaboración propia)

Tabla 5.8. Resultados ensayo de adherencia a ladrillos elaborados.

Probetas	Carga Máxima	Superficies	Adherencia	
	Kn	mm ²	Mpa	Kgf/cm ²
Probeta 1	38.666,0	113.475,0	0,34	3,48
Probeta 2	32.640,0	116.880,0	0,28	2,85
Probeta 3	31.205,0	115.945,0	0,27	2,75
Probeta 4	30.129,0	114.534,0	0,26	2,68
Probeta 5	45.194,0	114.800,0	0,39	4,02
Probeta 6	42.324,0	115.864,0	0,37	3,73
Promedio			0,32	3,25

(Fuente. Elaboración propia)

5.5.1. Análisis de los resultados de adherencia de cizalle

Según lo que indica la NCh 2123 Of. 97 en el anexo B, la adherencia de cizalle de las unidades de los ladrillos artesanales no debe ser inferior a 0,18 MPa (1,8 Kgf/cm²), por lo que se puede observar en la Tabla 5.7 un 50 % de las probetas de ladrillos artesanales cerámicos cumple con lo establecido en la norma y un 100% de las probetas elaboradas a base de caucho reciclado cumple con la norma correspondiente.

Sin embargo al analizar el promedio de los ensayos realizados ambos cumplen con el anexo b de la norma, obteniendo los ladrillos cerámicos 0,19 MPa y los ladrillos elaborados un total de 0,32 MPa donde nuevamente se supera a los ladrillos artesanales en un ensaye.

5.6. Análisis de costo de los ladrillos

Para el análisis de costo de los ladrillos se consideran los factores más importantes que influyen en el costo de los ladrillos cerámicos y de los ladrillos de hormigón con caucho reciclado de los neumáticos.

Para los ladrillos cerámicos se considera el valor comercial unitario más el transporte, los valores referenciales corresponderán a los ladrillos vendidos por la fábrica El Indio en Villa Alemana.

Para el caso de los ladrillos elaborados de hormigón con caucho reciclado se consideró el costo de las maquinarias y herramientas utilizadas, materiales, mano de obra y transporte. Gracias a la experiencia adquirida en la elaboración de los ladrillos en el laboratorio de la universidad se estimó que la producción diaria de ladrillos sería de 200 unidades (4000 ladrillos mensuales).

En la Tabla 5.9 se pueden observar las inversiones del proyecto correspondiente a la maquinaria y equipos utilizados, los precios corresponden a tiendas ubicadas en la región y se considera que se tiene el lugar donde se fabricaran los ladrillos.

Tabla 5.9. Costos de inversiones del proyecto a 10 años.

COSTOS DE INVERSIONES PROYECTO A 10 AÑOS				
NIVEL DE PRODUCCIÓN		4000 Ladrillos mensuales		
Equipos y maquinaria	Unidad	Costo/Uni (\$)	Cantidad	Costo total (\$)
Maquina ladrillos	Unidad	450.000	1	450.000
Carretilla	Unidad	20.588	1	20.588
Pala	Unidad	5.873	1	5.873
Arnero	Unidad	8.000	2	16.000
Betonera	Unidad	167.983	1	167.983
Pesa digital	Unidad	21.000	1	21.000
DEPRECIACIÓN 2% MENSUAL		13.629	120	1.635.466
INVERSION TOTAL				2.316.910

(Fuente. Elaboración propia)

Para los costos de variables de producción los precios también fueron obtenidos en tiendas de la región, en este se consideró los materiales, mano de obra y el transporte, de los ladrillos elaborados en un mes.

Tabla 5.10. Costos de variables de producción.

COSTOS VARIABLES DE PRODUCCION					
NIVEL DE PRODUCCIÓN		200 Ladrillos de hormigón con 20% de caucho de NFU diarios			
Descripción	Unidad	Costo/Uni (\$)	Cantidad	Costo total (\$)	
MATERIALES					
Cemento	Saco	3.900	4,00	15.600	
Arena	m3	11.000	0,36	3.960	
Grava	m3	13.000	0,29	3.770	
Caucho	kg	240	38,90	9.336	
Agua	m3	999	0,11	110	
SUBTOTAL MATERIALES				32.776	
MANO DE OBRA		Unidad	Costo/Uni (\$)	L. Sociales (29%)	Costo total (\$)
Ayudante	mes	250.000	72.500		322.500
Maestro	mes	300.000	87.000		387.000
SUB TOTAL MANO DE OBRA				709.500	
OTROS					
Flete	Unidad	20.000	1	20.000	
SUBTOTAL OTROS				20.000	
COSTO VARIABLE DE PRODUCCIÓN				762.276	

(Fuente. Elaboración propia)

Finalmente se analizó el precio unitario de los ladrillos elaborados y de los ladrillos cerámicos obteniendo el siguiente resultado:

Tabla 5.11. Valores unitarios de los ladrillos.

VALOR UNITARIO LADRILLO DE HORMIGON CON CAUCHO RECICLADO NFU			
DESCRIPCION	Valor proyecto	Valor mensual	P.U (\$)
Inversión 10 años	2.316.910	19.308	5
Producción		762.276	191
SUBTOTAL			195
UTILIDAD 20%			39
TOTAL			234
VALOR UNITARIO LADRILLO ARTESANAL			
DESCRIPCION	Costo/Uni(\$)	Cantidad	P.U (\$)
Ladrillo artesanal	170	1	170
Transporte	19	1	19
TOTAL			189

(Fuente. Elaboración propia)

Como se puede observar en la Tabla 5.1 el precio del ladrillo de hormigón con caucho reciclado de los neumáticos fuera de uso sobrepasa el de los ladrillos artesanales en un 24%, pero pese a esto sigue siendo más conveniente el ladrillo elaborado ya que por sus dimensiones cubre más superficie que el ladrillo artesanal.

Las dimensiones del ladrillo artesanal son 29x14x7 por lo tanto para un metro cuadrado se necesitarían 42 unidades de ladrillos siendo un costo total de \$9.828 pesos, mientras que las dimensiones de los ladrillos artesanales son 29x14x5 por lo tanto se necesitarían 56 unidades de ladrillos para cubrir un metro cuadrado de superficie obteniendo un costo total de \$10.584 pesos, entonces como conclusión se comprueba que es más económico utilizar los ladrillos elaborados.

6. Conclusiones y proposición de nuevas investigaciones

6.1. Conclusiones

El objetivo principal de esta investigación era determinar la factibilidad del empleo de caucho reciclado en la fabricación de ladrillos de hormigón para albañilería reforzada mediante diversos ensayos mecánicos. Según los datos obtenidos en el ensayo de absorción de agua se determinaron que los ladrillos cuentan con una baja absorción en comparación a los ladrillos artesanales, el resultado obtenido correspondiente a un 9% de los ladrillos elaborados, se acerca bastante al porcentaje de los ladrillos cara vista lo cual sería un resultado favorable para la investigación.

En el caso de la succión, ensayo de gran importancia en la adherencia del ladrillo con el mortero, se determinó que los ladrillos artesanales poseen un promedio de $0,25 \text{ gr/cm}^2 \times \text{min}$, mientras que los ladrillos de hormigón con caucho obtuvieron un promedio de $0,13 \text{ gr/cm}^2 \times \text{min}$, esta diferencia en los resultados obtenidos se puede interpretar, que debido a la baja succión del producto creado no sería necesaria demasiada hidratación previamente a la colocación de los ladrillos para obtener una buena adherencia, en cambio para los ladrillos cerámicos esta sería una obligación, ya que al no ser realizada se podría provocar una deshidratación prematura del mortero.

Para el ensayo de compresión se presentaron sorpresas al ensayar los ladrillos artesanales, ya que en la mayoría de los textos estudiados su resistencia no superaba los 40 kg/cm^2 exigidos por la norma chilena, en cambio en este caso los ladrillos ensayados superaron este resultado con creces dando un promedio de $102,3 \text{ kg/cm}^2$, lo cual deriva en un dato desfavorable para la investigación donde se obtuvo una resistencia de $73,78 \text{ kg/cm}^2$. A pesar de ello el resultado obtenido supera la exigencias en un 84% por lo tanto nuevamente tenemos un resultado favorable para la investigación.

En el último ensayo mecánico de adherencia de cizalle se estipulaba según norma que los resultados no debían ser inferior a $0,18 \text{ Mpa}$, resultado que ambos modelos de ladrillos cumplen con la exigencia pero nuevamente los resultados del ladrillo elaborado sobrepasaron al ladrillo cerámico artesanal con $0,32 \text{ MPa}$ versus $0,19 \text{ MPa}$, entonces se puede concluir nuevamente que el resultado obtenido fue positivo.

Finalmente caracterizado el comportamiento mecánico de los ladrillos en base a las normas chilenas y establecidas las comparaciones del comportamiento del ladrillo artesanal cerámico con el ladrillo elaborado de hormigón con caucho reciclado de los neumáticos fuera de uso, indicando las ventajas y desventajas que se producen se elaboró un análisis económico del ladrillo elaborado versus el ladrillo cerámico.

En el análisis de costo de los ladrillos se consideró en los ladrillos elaborados los costos por una inversión a 10 años y los costos de las variables de producción por mes, teniendo en cuenta que se elaboran 4.000 unidades mensuales, en cambio para los ladrillos cerámicos se consideró el precio en tienda más el transporte. Los costos obtenidos fueron \$234 pesos para los ladrillos elaborados y \$189 pesos para los ladrillos cerámicos, a pesar de ello se consideró que el alto en las dimensiones de los ladrillos era distinto siendo de 7 cms en los ladrillos elaborados y de 5 cms en los fiscales, por lo tanto el rendimiento de las unidades creadas supera a las adquiridas logrando que sea más económica su utilización en obras de albañilería reforzada.

Además del desarrollo de los objetivos se pudo concluir como análisis complementario que en un hormigón elaborado con caucho reciclado de los neumáticos NFU tiene variaciones en la resistencia a la compresión, a medida que se aumenta el porcentaje de caucho disminuye la resistencia junto con su peso, así se pudo comprobar que lo mencionado en otros estudios a este tipo de hormigón era verídico.

En fin se concluye que el producto creado correspondiente a un ladrillo de hormigón con caucho reciclado como material de construcción para albañilería reforzada cumple con los requerimientos exigidos por las normas chilenas de los ladrillos.

6.2. Propuestas para futuras investigaciones

Debido a los favorables resultados obtenidos y al comprobar que el ladrillo es factible para ser utilizado en albañilerías confinadas, se sugiere como futura investigación analizar las propiedades térmicas y acústicas de las unidades, ya que como se informó en diversas investigaciones el caucho podría aportar positivamente en las propiedades de aislación en las viviendas de albañilería.

Al visitar la empresa Polambiente, la cual es la encargada de reciclar neumáticos en Chile, me informaron que habían diversos proyectos y utilidades para el caucho reciclado, en cambio para el textil obtenido de los neumáticos aún no existe una utilidad, solo quedaba como desecho. Con el fin de darle un aprovechamiento energético a este material propongo también analizar un termopanel elaborado con el textil reciclado de los NFU.

Bibliografía

1. Diamant E. (1979). Aislamiento térmico y acústico de edificios. España.
2. Oghievsi M. (2005). Revista Saber cómo, Vol. N°27.
3. Verdugo T. (2012). Revista La tejuela, en línea <http://www.latejuela.cl/blog/los-multiples-beneficios-de-la-aislacion-termica/>, fecha de consulta (8/05/2014).
4. Organización Mundial de la Salud (OMS). (1999). Guías para el ruido.
5. Price F. (Ed.) (2008). Manual práctico de la construcción, Vol. N°7. Chile.
6. MINVU. (2007). Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Aislamiento Acústico.
7. CONAMA. (2008). En <http://www.cooperativa.cl/noticias/sociedad/salud/contaminacion-acustica-en-santiago-puede-provocar-sordera-y-estres/2008-06-04/121301.html>, fecha de consulta (8/05/2014).
8. López M. (Ed.). (2008). Revista de ingeniería en construcción UC, 23.
9. Quezada D. & Covarrubias A. (2001). La recolección y utilización de los neumáticos desechados. Talca, Chile: Universidad de Talca.
10. Hernández & Olivares. (2002). El comportamiento estático y dinámico del hormigón con caucho reciclado de neumáticos.
11. Universidad Jaime I, Aprovechamiento de los neumáticos usados para su aplicación a paneles aislantes de aglomerado de caucho.
12. Bustamante, Bobadilla A., Navarrete B., Saelzer S. & Vidal S. (2005). Revista de la Construcción, Vol.8. Chile: Universidad Católica.
13. Andrade M. (Ed.). (2005). Revista de la construcción, 4,5-12.
14. Chur G. (2010). Evaluación del uso de la cascarilla de arroz como agregado orgánico en morteros de mampostería. Guatemala: Universidad de San Carlos.
15. Holmberg A. & Araneda M. (2007). Ingeniería estructural de albañilería en Chile.

16. Instituto del cemento y del hormigón Chile (ICH). (2010). Manual del albañil. Chile.
17. Astroza M. (2008). Apuntes de diseño de albañilería estructural. Departamento de Ingeniería Civil Universidad de Chile.
18. Medina R. & Blanco A. (2011). Manual de construcción para maestros de obra. Perú.
19. Gallegos H. (1989). Albañilería estructural. Pontificia Universidad Católica del Perú.
20. Moya A. (2002). Estudio de los daños del terremoto de Chillán 1939. Universidad de Chile.
21. Astroza M. & Schmidt A. (2004). Revista de ingeniería sísmica, N°70. México.
22. Fernández J. (2014). Tecnología de los materiales, Historia del ladrillo. Argentina.
23. Kuroiwa J. & Salas J. (2009). Manual de reparaciones y reforzamiento de vivienda de albañilería confinada dañadas por sismos. Perú.
24. Sánchez D. (1996). Tecnología del concreto y del mortero. Colombia.
25. Faúndez D. & Luna P. (2002). Estudio teórico experimental de las propiedades de los morteros de junta para albañilería. Chile.
26. Zabaleta H. (1992). Compendio de tecnología del hormigón, Instituto chileno del cemento y del hormigón.
27. Instituto chileno del cemento y del hormigón (1988). Manual del hormigón, 3ª Edición.
28. Neville A. M. (1999), "Tecnología del Concreto", 1ª. Edición, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.
29. Ruz X. (2014). Revista HSec, Un desafío ambiental. Chile.
30. Ramírez P. (2011). Estudio de impacto ambiental y gestión de neumáticos fuera de uso. Chile.
31. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). (2007). Manual del empleo de caucho de NFU en mezclas bituminosas. España.
32. Bravo M. (2011). Reciclaje de neumáticos. Chile.

33. Hernandez, Olivares, Barluenga, Bollati & Witoszekb. (2002). Static and dynamic behavior of recycled tyre rubber-filled concrete, cement and concrete research.
34. Kalender B. (1957). Manual teórico-práctico del hormigón, Buenos Aires.
35. Irene del Pilar Urra Carrasco (1965). Hormigón con caucho: Determinación del módulo de elasticidad. Valdivia, Chile.
36. Revista de la Facultad de Ingeniería. (2008). N°1. Universidad Central de Venezuela.
37. Gómez C. (2000). Caracterización de sistemas estructurales usados en las viviendas de hormigón armado y albañilería reforzada en Chile. Tesis de Ingeniero Civil, Universidad de Chile.
38. Valenzuela A. (2010). Inauguración de la primera planta de reciclaje de neumáticos en Chile en línea <https://www.veoverde.com/2010/06/inauguran-primera-planta-de-reciclaje-de-neumaticos-sin-uso-en-chile/>, fecha de consulta (18/06/2014).
39. Eco-Ing. (2010). Evaluación de impactos económicos, ambientales y sociales de la implementación de la responsabilidad extendida del productor en Chile.
40. Malpesa J. (2003). El ladrillo cara vista y el adoquin cerámico. 3ra edición.
41. Revista Pro-Materiales. (2009). Ladrillo cara vista. España.
42. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). (2002). Catálogo de residuos dirección de calidad y evaluación ambiental del ministerio de medio ambiente. España.
43. Belén M. (2001). Sustenta Bit reciclaje de neumáticos en línea <http://www.polambiente.cl/imagenes/2466feNeumaticos%20Sustenta%2008032011.pdf>, fecha de consulta (20/06/2014).
44. Instituto de Promoción Cerámica. (IPC) (2014). http://www.ipc.org.es/guia_colocacion/info_tec_colocacion/sopor_sup_colocacion/superficie_colocacion/absorcion.html, fecha de consulta (22/02/2015)
45. Blanco F. (2006). Materiales de construcción. España.
46. Godoy M. (2010). Análisis comparativo entre ladrillos artesanales cerámicos y ladrillos de suelo cemento. Universidad de Valparaíso.

47. NCh 167 Of. 2001, INN, Construcción – Ladrillos Cerámicos – Ensayos.
48. NCh 168 Of.2001, INN, Construcción – Ladrillos Cerámicos – Verificación dimensional y geometría.
49. NCh 169 Of.2001, INN, Construcción – Ladrillos Cerámicos – Clasificación y requisitos.
50. NCh 2123 Of. 1997, INN, Albañilería Confinada – Requisitos para el diseño y calculo.
51. NCh 163 Of. 2013, INN, Áridos para morteros y hormigones – Requisitos.
52. NCh 165 Of. 2009, INN, Tamizado y determinación de la granulometría.
53. NCh 1116 Of. 2008, INN, Determinación de la densidad aparente.
54. NCh 1117 Of. 2010, INN, Densidad real, neta y absorción de agua de las gravas.
55. NCh 1239 Of. 2009, INN, Densidad real, neta y absorción de agua de las arenas.
56. NCh 1515 Of. 1979, INN, Determinación del contenido de humedad en todos los áridos.

Anexo

Comparación del comportamiento de un ladrillo con la adición de caucho y el comportamiento de un ladrillo cerámico.

Ensayos	Ladrillos Elaborados con Caucho	Ladrillo Ceramicos Artesanales
Absorción (%)	9,30	18,80
Succión ($\text{gr}/\text{cm}^2 \times \text{min}$)	0,13	0,25
Resistencia a la Compresión (kgs/cm^2)	73,80	102,30
Adherencia (Kgf/cm^2)	3,25	1,90

