



Facultad de Ingeniería

Escuela de Construcción Civil

Evaluación de las Propiedades Térmicas y Mecánicas del Mortero de Cemento para Estuco elaborado con Cáscara de Almendras

Por

Fernanda Garrido Díaz

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

Prof. Guía: Juan Egaña Ramos.

Marzo, 2018

Dedicatoria

*A mis Padres por su apoyo
Constante e incondicional durante toda mi vida,
A mis hermanos por creer y confiar en mí,
A mis amigos por estar cuando los necesite.*

Agradecimientos

A mis padres Ana y Jorge, por darme la vida, educación, cariño y por sobre todo entregarme su sabiduría frente a los obstáculos que se enfrentan en la vida.

A mis hermanas Maribel y Joselyn, por siempre estar ahí cuando las necesite, tan solo hablando de cualquier tema, aconsejándome y riendo como si no pasaran los años,

A toda mi familia, abuelita, tíos, primos, sobrinas, por siempre alentarme durante mi carrera, por las cenas familiares que hacían volver con más ganas a la Universidad para poder lograr mi objetivo.

A mis amigos Vanessa y Cristofer, por entregarme su apoyo incondicional ante las dificultades académicas y sentimentales, por esas infinitas conversaciones y carretes, por quererme como soy y aceptar toda mi locura.

A todos los profesores de la Universidad de Valparaíso que aportaron de una u otra manera en toda mi formación como futura profesional, a mi profesor guía Juan Egaña, por su dedicación, su tiempo y entrega de conocimiento, a las queridas Emperatriz y Fabiola por dar soluciones a todos los estudiantes con la mejor disposición y cordialidad.

A Don Víctor Escudero, por guiarme durante mi proceso en laboratorio, por entregarme sus conocimientos y sabiduría, y por sobre todo por su gran apoyo en cada actividad realizada.

En general, dar infinitas gracias a cada uno de los que pasaron por esta etapa de mi vida.

Índice General

Índice General.....	4
Índice de Tablas	7
Índice de Figuras.....	8
1 Antecedentes Generales.....	10
1.1 Resumen.....	10
1.2 Abstrac	11
1.3 Estado del arte.....	12
1.4 Objetivos	15
1.4.1 Objetivo general	15
1.4.2 Objetivos específicos	15
1.5 Hipótesis	15
1.6 Alcances.....	15
2 Marco Teórico	17
2.1 Viviendas en Chile.....	17
2.2 Factores que intervienen en la aislación térmica	18
2.2.1 Confort térmico	18
2.2.2 Aislación térmica	18
2.2.3 Transferencia de calor	18
2.2.4 Conductividad térmica	19
2.3 El mortero	20
2.3.1 Propiedades del mortero fresco.....	20
2.3.2 Propiedades del mortero endurecido.....	21
2.4 Materiales de baja densidad.....	22
2.4.1 Piedra pómez.....	22
2.4.2 Arcilla expandida	23
2.4.3 Poliestireno expandido.....	23
2.4.4 Cascarilla de arroz.....	24
2.4.5 Aserrín.....	24
2.4.6 Vermiculita expandida	24
2.4.7 Perlita expandida.....	25
2.4.8 Lana mineral.....	25

2.4.9 Poliuretano	26
2.4.10 Corcho	26
2.4.11 Cáscara de almendras.....	27
3 Programa Experimental	34
3.1 Metodología de la investigación	34
3.2. Descripción de variables de la investigación.....	36
3.2.1 Variable independiente.....	36
3.2.2 Variables dependientes.....	36
3.3 Selección y caracterización de materiales.....	37
3.3.1 Cemento	37
3.3.2 Árido	37
3.3.3 Agua	38
3.3.4 Cáscara de almendras.....	39
3.3.5 Diseño del mortero	41
3.3.6 Ensayos físicos y mecánicos	43
3.3.7 Ensayo de aislación térmica	45
4 Presentación y Análisis de Resultados	49
4.1. Selección y caracterización de materiales.....	49
4.1.1. Determinación de densidades, absorción y granulometría de la arena	49
4.1.2 Separación de la cáscara de almendras	51
4.1.3 Granulometría cáscara de almendras (materia prima).....	52
4.1.4 Molienda de la cáscara de almendras.....	54
4.1.5 Granulometría cáscara de almendras molida	55
4.1.8 Determinación de densidades.....	57
4.1.7 Mortero de prueba	58
4.1.8 Pretratamiento de la cáscara de almendras.....	60
4.2. Dosificación del mortero	62
4.3 Resultados ensayos físicos y mecánicos	63
4.3.1. Ensayo de consistencia.....	63
4.3.2 Ensayo de retentividad	64
4.3.3 Ensayos de flexión y de compresión	65
4.3.4 Ensayos térmicos.....	70

5 Conclusiones y Propuesta a Futuras Investigaciones	76
5.1 Conclusiones	76
5.2 Propuesta a futuras investigaciones	77
Bibliografía	78
Anexos	80

Índice de Tablas

Tabla 2.1: Clasificación conductividad térmica.	19
Tabla 2.2: Densidad aparente y Conductividad térmica de la arcilla expandida.....	23
Tabla 2.3: Densidad aparente y Conductividad térmica del poliestireno expandido.	24
Tabla 2.4: Densidad aparente y Conductividad térmica de la cascarilla de arroz.	24
Tabla 2.5: Densidad aparente y Conductividad térmica del aserrín.	24
Tabla 2.6: Densidad aparente y Conductividad térmica de la vermiculita expandida.	25
Tabla 2.7: Densidad aparente y Conductividad térmica de la perlita expandida.	25
Tabla 2.8: Densidad aparente y Conductividad térmica de la lana mineral.	26
Tabla 2.9: Densidad aparente y Conductividad térmica del poliuretano.....	26
Tabla 2.10: Densidad aparente y Conductividad térmica del corcho.	27
Tabla 2.11: Superficie de almendros en Chile.....	30
Tabla 2.12: Variedades de almendros en Chile.	31
Tabla 3.1: Diseño del mortero.	36
Tabla 3.2: Clasificación de los cementos según su composición.	37
Tabla 3.3: Bandas granulométricas para árido fino.....	38
Tabla 3.4: Fluidez del mortero.	41
Tabla 3.5: Determinación de la dosis de agua y aire (l/m ³) de un mortero.....	42
Tabla 3.6: Clasificación de morteros por consistencia.	43
Tabla 3.7: Clasificación de morteros según su grado de retentividad.	44
Tabla 4.1: Resultados del procedimiento de densidad real.	49
Tabla 4.2: Densidad aparente suelta de la arena.....	49
Tabla 4.3: Densidad aparente compactada de la arena.	50
Tabla 4.4: Granulometría de la arena.	50
Tabla 4.5: Granulometría de la cáscara de almendras sin procesar.....	53
Tabla 4.6: Granulometría de la cáscara de almendras molida.....	55
Tabla 4.7: Densidad real de la cáscara de almendras, por picnometría.....	57
Tabla 4.8: Determinación de la densidad aparente suelta de la cáscara de almendras.....	58
Tabla 4.9: Absorción Cáscara de Almendras.	58
Tabla 4.10: Datos para la dosificación del mortero.....	62
Tabla 4.11: Dosificación en peso, mortero patrón.....	62
Tabla 4.12: Dosificación en volumen.....	63
Tabla 4.13: Dosificación en volumen aparente; representado en unidad de masa.	63
Tabla 4.14: Resultados ensayo de consistencia.....	64
Tabla 4.15: Resultados Ensayo de Retentividad.	65
Tabla 4.16: Masa Probetas RILEM.	66
Tabla 4.17: Masa Probetas Cúbicas.....	66
Tabla 4.18: Densidad aparente de Probetas RILEM.	67
Tabla 4.19: Densidad aparente Probetas Cúbicas.....	67
Tabla 4.20: Ensayo de Flexión.	68
Tabla 4.21: Ensayo de Compresión en Probetas RILEM.....	69
Tabla 4.22: Ensayo de Compresión en Probetas Cúbicas.	70

Índice de Figuras

Figura 2.1: Materiales más utilizados.....	17
Figura 2.2: Producción mundial y superficie plantada de almendros 2002-2012.....	29
Figura 3.1: Metodología de la investigación.....	35
Figura 3.2: Medición del agua de exudación del mortero.....	44
Figura 3.3: Disposición de la probeta para el ensayo de compresión.....	45
Figura 3.4: Diseño cámara térmica.....	46
Figura 3.5: Diseño cámara térmica con detalles.....	47
Figura 4.1: Gráfico Granulometría de la arena.....	51
Figura 4.2: Endocarpio y mesocarpio de la almendra.....	52
Figura 4.3: Endocarpio de la almendra.....	52
Figura 4.4: Granulometría de la cáscara de almendras.....	53
Figura 4.5: Gráfico Granulometría de la cáscara de almendras.....	54
Figura 4.6: Molienda cáscara de almendras en la máquina de Los Ángeles.....	55
Figura 4.7: Granulometría de la cáscara de almendras molida.....	56
Figura 4.8: Gráfico Granulometría de la cáscara de almendras molida.....	56
Figura 4.9: Materiales para realizar densidad real de la cáscara de almendras.....	57
Figura 4.10: Mortero de prueba con 50% de cáscara de almendras.....	58
Figura 4.11: Mortero de prueba desmoldada.....	59
Figura 4.12: Coloración de la Cáscara de Almendras.....	60
Figura 4.13: Pretratamiento de la cáscara de almendras, preparación de la solución de NaOH con agua destilada.....	61
Figura 4.14: Pretratamiento de la cáscara reposando por 24 horas.....	61
Figura 4.15: Resultados Ensayo de Consistencia.....	64
Figura 4.16: Consistencia muestra patrón.....	65
Figura 4.17: Confección de probetas.....	66
Figura 4.18: Resultados Ensayo Flexión.....	68
Figura 4.19: Ensayo de Compresión Probetas RILEM.....	69
Figura 4.20: Ensayo de Compresión en Probetas Cúbicas.....	70
Figura 4.21: Promedio de temperaturas en ambas cámaras.....	71
Figura 4.22: Variación de temperaturas entre cámaras.....	72
Figura 4.23: Promedio de temperaturas en ambas cámaras.....	72
Figura 4.24: Variación de temperaturas entre cámaras.....	73
Figura 4.25: Promedio de temperaturas en ambas cámaras.....	73
Figura 4.26: Variación de temperaturas entre cámaras.....	74
Figura 4.27: Variación entre muros.....	74

**Capítulo 1:
Antecedentes Generales**

1 Antecedentes Generales

1.1 Resumen

Una gran problemática en Chile es la carencia de cualidades en las viviendas sociales, las cuales otorguen confort y mejores condiciones de habitabilidad. Estas viviendas son en más de un 40% de albañilería, estucada con mortero de cemento el que hace el trabajo de proteger térmicamente a la vivienda.

En la siguiente investigación, se presenta el desarrollo, evaluación y conclusión de las propiedades térmicas y mecánicas del mortero de cemento para estuco agregándole cáscara de almendras.

La metodología consiste en un reemplazo parcial del árido fino en proporciones del 10%, 30% y 50% en relación a su volumen. Dichos morteros se sometieron a ensayos de consistencia, retentividad, flexión, compresión, aislación térmica y a su vez fueron comparados con un mortero patrón, el cual no contiene cáscara de almendras.

Los resultados obtenidos en los morteros con cáscara de almendras fueron los esperados, obteniendo una disminución en las propiedades mecánicas y aumentando la aislación térmica. Estos resultados eran esperables debido a la baja densidad que posee la cáscara de almendras.

1.2 Abstrac

A big problem in Chile is the lack of qualities in social housing, which provide comfort and better living conditions. These homes are in more than 40% of masonry, stuccoed with cement mortar that does the job of thermally protecting the home.

In the following investigation, presentation of the development, evaluation and conclusion of the thermal and mechanical properties of the cement mortar for the added study of the almond shell.

The methodology consists of a partial replacement of fine aggregate in proportions of 10%, 30% and 50% in relation to its volume. Said mortars were subjected to tests of consistency, retentivity, bending, compression, thermal insulation and, in turn, were compared with a standard mortar, which does not contain almond shells.

The results obtained in the mortars with almond shell were satisfactory, obtaining a decrease in the mechanical properties and increasing the thermal insulation. These results are expected due to the low density of the almond shell.

1.3 Estado del arte

Las viviendas sociales en Chile, se han materializado a lo largo del siglo XX. En las primeras décadas de este siglo es donde empieza el intento por disminuir el déficit habitacional, que afecta a las familias de más bajos ingresos (Hidalgo, 1999).

La construcción de viviendas sociales, es uno de los ejes principales en el desarrollo de las políticas públicas, ya que constituyen un bien de primera necesidad. Por tanto, es el Estado quien debe asumir dicha responsabilidad. Para esto, otorga estándares mínimos para satisfacer las necesidades de habitabilidad de las personas. En base a lo anterior, los proyectos de viviendas sociales han evolucionado; hoy en día la superficie promedio de las viviendas es de 54,2 metros cuadrados, 55,1 metros cuadrados en casas y 52,7 metros cuadrados en departamentos (MINVU, 2015).

Desde 2010 se han materializado bastantes modificaciones en la política habitacional del MINVU, que sumadas a la coyuntura del 27-F sin duda afectaron de manera importante la ejecución del Ministerio en materia de vivienda en el periodo de análisis (CChC, 2011).

En la actualidad una de las técnicas constructivas más eficaces en Chile es la albañilería teniendo como principal ventaja los tiempos de construcción y gastos económicos con respecto a otras técnicas constructivas. Además, la albañilería ocupa más de un 40% de la materialidad de las viviendas sociales existentes (Gomez et al, 2005). Dichas viviendas responden sólo a factores cuantitativos, debido a la necesidad de reducir el déficit habitacional del país, dejando en un segundo plano los factores cualitativos que otorgan las condiciones de habitabilidad y confort dentro de las viviendas (Martínez et al, 2005).

El gran problema que presenta la albañilería es el alto valor de conductividad térmica que poseen los ladrillos, por esta razón se sabe que no tiene buenas características aislantes, debido a que la pérdida de calorías es proporcional al coeficiente de conductividad térmica. Por lo que los materiales aislantes deben tener este coeficiente lo más bajo posible, para que la pérdida de energía dentro de los hogares sea menor (Aravena, 2010). Además, existe un alto nivel de filtraciones producto del mal sellado de las viviendas, lo cual genera un alto porcentaje de pérdida de calor (Verdugo, 2014).

El mortero puede ser definido como una mezcla de un conglomerante o cementante inorgánico (arcilla, yeso, cemento, entre otros), áridos y agua. Frecuentemente puede contener otros componentes orgánicos e inorgánicos (aditivos) con el objetivo de mejorar sus prestaciones o dotarlo de otras específicas (Gordillo, 2005). Desde los orígenes de la civilización, este material ha sido utilizado en la construcción de edificios y defensas como material de pega, incluso; para la construcción de muros, paredes, cubiertas, juntas, revestimientos y estucos (Rosi, 2007). Este último es considerado como uno de los revestimientos más usados para embellecer muros y cielos, además de proteger a los elementos constructivos que recubren de la acción de la intemperie, lo que les ha valido para ser denominados la superficie de sacrificio o la piel de los edificios (Rosi, 2007).

Sabemos que la temperatura óptima dentro de la vivienda, es de 20°C de día y 17°C de noche, denominada temperatura de confort (Chapple, 2008). Esta situación, se escapa de la realidad, ya que para poder llegar a esas temperaturas, se debe recurrir a calefacción en invierno, y refrigeración en verano (Hatt et al, 2012). Hoy existe una gran preocupación del Estado por lograr un mejor desempeño térmico de las edificaciones en Chile. Se introdujo, en la década pasada, una reglamentación térmica que define las exigencias térmicas mínimas para la envolvente de viviendas, específicamente, los complejos de techumbre, muros y pisos e implementará, a corto plazo, un sistema de certificación energética de viviendas (MINVU, 2006) con el objetivo de bajar el consumo energético y aumentar el confort térmico, para así, reducir las enfermedades resultado de las malas condiciones de habitabilidad (Hatt et al., 2012). Además para el mejoramiento de la vivienda, se han establecido una serie de subsidios integrados en el Programa de Protección del Patrimonio Familiar (PPPF) que busca interrumpir el deterioro y mejorar las viviendas de familias vulnerables y de sectores emergentes (MINVU, 2014).

Para dar solución a este problema de aislación térmica en las viviendas sociales de albañilería, existen distintas alternativas de revestimientos de la envolvente, siendo los estucos de mortero de cemento una de las más utilizadas (Roa, 2016).

Aquí radica la importancia de hacer estudios y mejoras a estos morteros producto del impacto social que puede tener en las familias chilenas. En este punto es donde se han ido incorporando distintas alternativas para modificar los morteros como lo son los aditivos de distintas procedencias.

Son diversos los aditivos que se han usado a lo largo del tiempo para los morteros modificados, tales como sangre y pelos de animales y humanos, leche (caseína), ceras, grasas (sebo), aceites, tejo o ladrillo triturado, polvo volcánico («tierra de santorín» o «puzolana»), arcilla cocida, huesos, cola animal, azúcares, cerveza, arroz, huevos, paja, etc. La función de estos aditivos es muy específica, e indica un determinado grado de conocimiento y de desarrollo técnico. Es importante conocer la función de estos aditivos para obtener toda la información que estos datos posibilitan (Gordillo, 2005).

Los avances tecnológicos han influido en el desarrollo de los morteros, la aparición de nuevos materiales y el desarrollo de la industria química para la construcción (Consuegra et al, 2012). Hoy en día se han estudiado morteros modificados con agregados orgánicos e inorgánicos, dentro de los cuales destacan el residuo de espuma de poliuretano, el aserrín, la cáscara de arroz, corcho reciclado, la cáscara de nuez, entre otros. Algunos de los materiales han sido adoptados en consideración a su estructura celular, ya que como principal ventaja tienen una baja densidad y consecuentemente el aislamiento térmico que esto genera (Valdez et al, 2010). Además provocan una disminución lineal de la conductividad térmica de los materiales (Arambarri & Aglietti, 2000).

La mayoría de los materiales orgánicos que se han utilizado están constituidos por celulosa y lignina, los cuales poseen extractos residuales que son incompatibles con el cemento Portland los que hacen que se retarde el fraguado, la adhesión y el endurecimiento normal del mortero. Los compuestos cementicios basados en residuos vegetales son altamente

porosos, la que constituye una de las características más importantes dadas al nuevo material (Gatani & Argüello, 2007).

La plantación mundial de almendros alcanzó una superficie de 1.653.844 hectáreas en el año 2012. España concentra un tercio de la superficie mundial de almendros, seguida por Estados Unidos, que capta el 19,1%; Túnez (11,5%), Marruecos (9,1%), Irán (4,5%) e Italia, que registra un área plantada equivalente a 4,1% de la superficie mundial. Los seis países representan el 80% de esta superficie. Chile se ubica en el lugar 17, con sólo 0,5% del total (Odepa, 2014), de la cual el 20% es cáscara (Martínez et al, 2009), siendo ésta considerada como residuo.

En otros países, este material se utiliza principalmente como combustible para el cocimiento de ladrillos y artesanías de cerámica, así como para el acolchado de parques y jardines (Martínez et al, 2009). También puede ser una alternativa de sustrato o componente de sustratos para el cultivo de plantas en contenedor (Jiménez et al, 2000).

A diferencia de los países mencionados anteriormente, Chile ha tenido un bajo uso alternativo con respecto a la cáscara de almendras, el cual puede transformarse en una externalidad positiva toda vez se convierta en un subproducto del negocio de la almendra (Universidad de Chile, 2007).

La cáscara de almendras tiene un peso específico de 379 kg/m^3 (Sancho, 2016), es por esto que se plantea la incorporación de la cáscara de almendras al mortero de cemento para estuco, para obtener una disminución en la densidad de éste al momento de compararlo con un mortero tipo y así producir una disminución en la resistencia mecánica. Además de ser por sí solo un aislante térmico, como es el caso del mortero para estuco, al incorporar las cáscaras de almendras será capaz de disminuir aún más su conductividad térmica.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

- Evaluar las propiedades térmicas y mecánicas del mortero de cemento elaborado con cáscara de almendras en reemplazo parcial de la arena.

1.4.2 Objetivos específicos

- Evaluar las propiedades mecánicas (compresión y flexión) del mortero con cáscara de almendras.
- Evaluar las propiedades térmicas del mortero con cáscara de almendras.

1.5 Hipótesis

- El empleo de cáscara de almendras en mortero de cemento le confiere propiedades mejoradas de aislación térmica, sin desmedro significativo de sus propiedades mecánicas.

1.6 Alcances

- El mortero estudiado será aplicado solamente como estuco.
- La cáscara de almendras utilizada será de tipo Nonpareil.
- Se utilizará cemento portland puzolánico grado corriente.
- Los ensayos de resistencia mecánica se realizarán de acuerdo a la NCh 158 Of 67.
- Se hará además el ensayo de compresión mediante la NCh 1037 of 77.
- Los ensayos térmicos serán de carácter comparativo de elaboración propia, basado en la NCh 851. Of 83.

**Capítulo 2:
Marco Teórico**

2 Marco Teórico

2.1 Viviendas en Chile

Alrededor de 100.000 viviendas se construyen al año en Chile, dentro de las cuales más de un 40% son de albañilería (Gómez et al., 2005). En el país, las empresas del sector están preocupadas por el tema del mejoramiento de la calidad térmica de las viviendas, debido a que podría significar que los costos de construcción se incrementen.

Para destacar la importancia de la albañilería en la edificación de uso habitacional, en la siguiente figura se presenta un cuadro comparativo donde se aprecia que en el año 2000 la albañilería era usada como material predominante de muros en un 53% de la superficie edificada habitacional (Fuenzalida & Reyes, 2007)

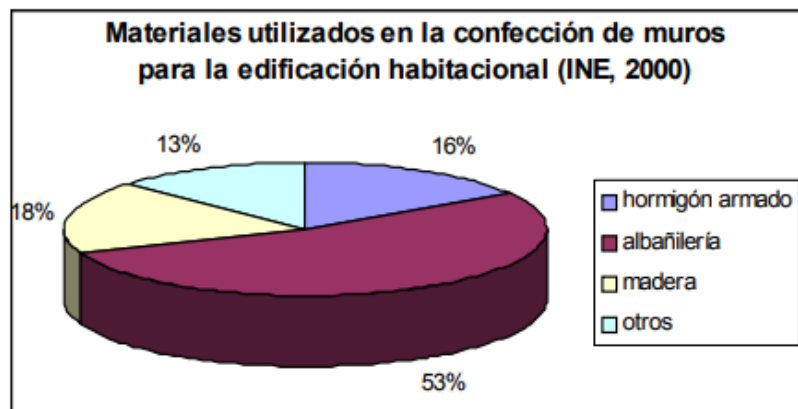


Figura 0.1: Materiales más utilizados.

Fuente: INE, 2000.

En Chile, la destrucción de viviendas causada por la ocurrencia del terremoto de febrero de 2010, hizo aumentar el déficit habitacional de 300 mil a 529 mil viviendas, lo que trajo nuevamente a la discusión pública la pertinencia de promover específicamente este tipo de construcción en la provisión de vivienda subsidiada por parte del Estado, como una forma más rápida y económica de abordar este déficit privilegiando lo cuantitativo ante lo cualitativo (Duffau, 2010).

En general la construcción es una actividad que necesita ser bastante flexible a los requerimientos específicos de su demanda, particularmente en el segmento de construcción de viviendas, lo que a veces redundo en un menor grado de precisión o control de calidad del producto.

Chile es el primer país latinoamericano en incorporar a sus exigencias constructivas una reglamentación térmica. El Ministerio de Vivienda y Urbanismo ha incorporado en los últimos años dos modificaciones a la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones en el Programa de Reglamentación Térmica de viviendas, en una primera etapa es sobre la aislación de techumbre (entrando en vigencia en el año 2000) y en la segunda etapa sobre la aislación de

muros, ventanas y pisos ventilados (año 2007). Una tercera etapa está prevista que sea sobre la certificación energética de las edificaciones.

Un 74% de las viviendas construidas antes del año 2000 no se encuentran acogidas a ninguna exigencia térmica, y solo un 19% de las viviendas construidas entre el año 2000 y 2007 cumplen con la primera etapa de la Reglamentación Térmica, siendo ésta la aislación de techumbre (Jiménez & Moreno, 2017).

2.2 Factores que intervienen en la aislación térmica

2.2.1 Confort térmico

El confort térmico está definido como un concepto subjetivo ya que expresa el bienestar físico y psicológico del individuo cuando las condiciones de temperatura, humedad y movimiento del aire son favorables a la actividad que desarrolla (Martínez, 2017). Y según la norma ISO 7730 el confort térmico “es una condición mental en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico”.

Estas dos definiciones llegan a una equivalencia, expresar la satisfacción de las personas de acuerdo a un lugar determinado. Esta, dependerá de cómo los individuos reaccionen a diferentes factores físicos y ambientales como lo son la humedad ambiental, la temperatura del aire, la velocidad y dirección del viento, etc. Estos factores dependerán de las condiciones de las viviendas y además del lugar geográfico en el que se encuentren.

2.2.2 Aislación térmica

Está definida como la capacidad que tiene un material para oponerse al paso del calor y que en construcción se refiere al intercambio de energía calórica entre el ambiente interior y el exterior. Se expresa en términos de su Resistencia Térmica que se conoce como valor R.

Una buena aislación térmica en las viviendas se traduce en mejorar la calidad de vida de las familias, tanto en períodos de invierno (calefacción) como en verano (refrigeración). Lo que conlleva a una mejor habitabilidad, menor contaminación, mejor salud y mayor durabilidad de la vivienda.

2.2.3 Transferencia de calor

Se define como la ciencia que trata de predecir el intercambio de energía que puede tener lugar entre cuerpos materiales como resultado de una diferencia de temperaturas (Criado et al, 2011).

Cuando dos cuerpos tienen distintas temperaturas y se ponen en contacto entre sí, se produce una transferencia de calor desde el cuerpo de mayor temperatura al de menor temperatura.

La transferencia de calor se puede realizar por tres mecanismos físicos: conducción, convección y radiación. Estos mecanismos se podrán producir simultáneamente con diferente importancia relativa.

- **Conducción:** este fenómeno consiste en la propagación de calor entre dos cuerpos o partes de un mismo cuerpo de mayor temperatura a una de menor temperatura debido a la agitación térmica de las moléculas, no existiendo un desplazamiento real de éstas.
- **Convección:** es el mecanismo de transferencia de calor por movimiento de masa o circulación dentro de la sustancia. Puede ser natural producida solo por las diferencias de densidades de la materia; o forzada, cuando la materia es obligada a moverse de un lugar a otro (ventilador, bomba, etc). Sólo se produce en líquidos y gases donde los átomos y moléculas son libres de moverse en el medio.
- **Radiación:** energía emitida por la materia que se encuentra a una temperatura dada, se produce directamente desde la fuente hacia afuera en todas las direcciones. Esta energía es producida por los cambios en las configuraciones electrónicas o fotones.

A diferencia de la conducción y la convección, la radiación es independiente de la materia para su propagación, de hecho la transferencia de energía por radiación es más efectiva en el vacío.

2.2.4 Conductividad térmica

Cantidad de calor que en condiciones estacionarias pasa en la unidad de tiempo a través de la unidad de área de una muestra de material homogéneo de extensión infinita, de caras planas y paralelas y de espesor unitario, cuando se establece una diferencia de temperatura unitaria entre sus caras. Este valor se expresa en $[W/(m \cdot K)]$. Así, lo define la NCh 853 Of 2007.

En la construcción existen distintos materiales los cuales se pueden clasificar por su conductividad térmica de acuerdo a una clasificación hecha por la Universidad del Biobío.

Tabla 0.1: Clasificación conductividad térmica.

Valor λ (W/m*k)	Clasificación
$0.024 \leq \lambda \leq 0.038$	Muy buenos aislantes
$0.038 < \lambda \leq 0.12$	Buenos aislantes
$0.12 < \lambda \leq 0.46$	Medianos aislantes
$0.46 < \lambda \leq 1.62$	Malos aislantes
$\lambda > 1.62$	Conductores

Fuente: Clasificación conductividad térmica (Universidad del Biobío 2000).

2.3 El mortero

Los morteros son mezclas plásticas obtenidas con un aglomerante, arena y agua, que sirven como material de agarre para unir las piedras o ladrillos que integran las obras de construcción y para revestirlos con enlucidos o revocos.

Contrariamente a otros materiales constructivos, el mortero tiene la peculiaridad de ser empleado en muy distintas aplicaciones en edificación.

2.3.1 Propiedades del mortero fresco

2.3.1.1 Consistencia

La consistencia de un mortero define la manejabilidad o trabajabilidad del mismo. La consistencia adecuada se consigue en obra mediante la adición de cierta cantidad de agua que varía en función de la granulometría del mortero, cantidad de finos, empleo de aditivos, absorción de agua de la base sobre la que se aplica, así como de las condiciones ambientales, gusto de los operarios que lo utilizan, etc (Rodríguez, 2003).

2.3.1.2 Tiempo de trabajabilidad

Es el tiempo durante el cual un mortero posee la suficiente trabajabilidad para ser utilizado sin adición posterior de agua con el fin de contrarrestar los efectos de endurecimiento por el principio del fraguado.

2.3.1.3. Densidad

La densidad del mortero está directamente relacionada con la de sus materiales componentes, así como con su contenido en aire.

2.3.1.4 Adherencia

Consiste en la capacidad del mortero para absorber tensiones normales o tangenciales a la superficie de la interfase mortero-base. Se refiere, por tanto, a la resistencia a la separación del mortero sobre su soporte.

2.3.1.5 Capacidad de retención de agua

La retención de agua se halla íntimamente relacionada con la superficie específica de las partículas de agregado fino, así como con conglomerante y, en general, con la viscosidad de la pasta. Un mortero tiende a conservar el agua precisa para hidratar la superficie de las partículas del conglomerante y agregado, así como las burbujas de aire incluido.

2.3.2 Propiedades del mortero endurecido

2.3.2.1 Resistencia mecánica

El mortero en la mayor parte de sus aplicaciones debe actuar como elemento de unión resistente compartiendo las sollicitaciones del sistema constructivo del que forma parte.

2.3.2.2 Adherencia

Se basa en la resistencia a tracción de la unión entre un mortero y un soporte definido. Constituye una propiedad fundamental pues determina la unión solidaria entre las piezas o partes unidas influyendo en la resistencia del conjunto.

2.3.2.3. Retracción

En una contracción que experimenta el mortero por disminución de volumen durante el proceso de fraguado y principio de endurecimiento. Dicha retracción es provocada por la pérdida de agua sobrante tras la hidratación del mortero (Rodríguez, 2003).

Se ha demostrado que las retracciones son más elevadas cuanto más ricos en cemento y elementos finos son los morteros. También se ha observado que la retracción aumenta cuanto mayor es la cantidad de agua de amasado.

Existen tres etapas de retracción en el mortero, las cuales se definen:

- **Retracción plástica:** es una contracción por desecación durante el proceso de fraguado, cuando el mortero no es capaz de transmitir ni soportar tensiones producidas por la rápida evaporación del agua.
- **Retracción hidráulica o de secado:** es la contracción del mortero por vaporación del agua, que se produce al haber finalizado el fraguado. Si la retracción de secado es intensa causa un cambio volumétrico capaz de crear tensiones importantes en zonas impedidas de deformarse.
- **Retracción térmica:** es la contracción experimentada por el mortero, por variación en la temperatura de su masa durante el endurecimiento.

2.3.2.4 Absorción de agua

Afecta a los morteros que quedan expuestos directamente a la lluvia. Su importancia radica en que la absorción determina la permeabilidad.

La absorción depende de la estructura capilar del material, por tanto, cuanto más compacto sea un mortero, menor será la red capilar y, en consecuencia, menor absorción presentará.

2.3.2.5 Densidad

La densidad del mortero dependerá fundamentalmente de la densidad que tengan sus componentes: arenas, adiciones, etc.

Además, incide en la densidad la relación agua/cemento del mortero. A medida que aumenta dicha relación más poroso es el mortero.

Se considera que un mortero es ligero, cuando la densidad es igual o menor que 1300 Kg/m³.

2.3.2.6 Permeabilidad al vapor de agua

El paso del vapor a través de la estructura capilar del material favorece su traspiración impidiendo la aparición de condensaciones en el interior, por causas higrotérmicas.

2.3.2.7 Comportamiento térmico

Esta característica viene dada por la conductividad térmica del material que indica la cantidad de calor que pasa en la unidad de tiempo por una superficie del material. La conductividad depende de la densidad, porosidad, contenido de humedad, etc. En el caso del mortero estos parámetros dependen de los componentes y proporciones que contengan, siendo fundamental la densidad final de la mezcla (Rodríguez, 2003).

2.4 Materiales de baja densidad

Existen diferentes materiales de baja densidad los cuales pueden ser utilizados para confeccionar un mortero que mejore sus propiedades térmicas, ya que al tener una baja densidad son capaces de aumentar su capacidad térmica.

Algunos de estos materiales ya han sido utilizados como agregado en hormigones dándoles el nombre de “hormigones livianos” debido a su disminución de la densidad total, la cual varía entre 300 kg/m³ y 1900 kg/m³, ya que un hormigón convencional oscila en aproximadamente 2400 kg/m³.

2.4.1 Piedra pómez

También llamada pumita, es una roca tan ligera que flota en el agua, y con aspecto de esponja. La pumita se forma en algunas erupciones volcánicas en las que se acumulan gran cantidad de gases en la cámara magmática de los volcanes. Cuando ésta se enfría al contacto con el aire, una vez expulsada del volcán, da origen a fragmentos rocosos llenos de poros.

Es una roca que triturada se puede utilizar para la fabricación de morteros y hormigones ligeros (disminuyendo el peso hasta en un 30%), destinados a mejorar las condiciones térmicas y acústicas (debido a su porosidad).

Posee una densidad que varía entre 400 y 900 kg/m³, es mal conductor térmico y presenta buena resistencia al fuego.

2.4.2 Arcilla expandida

Se fabrica sometiendo la arcilla a temperaturas de 1200 °C, por este proceso se ocluyen en su interior múltiples celdillas que contienen aire estancado. La arcilla expandida es un producto neutro, que no se pudre y no atacable por parásitos, hongos ni roedores. No le afectan las sustancias químicas y es altamente resistente a las heladas y a los cambios bruscos de temperatura.

A mayor tamaño del grano (más expandido), menor será la densidad del material, que varía entre los 325 kg/m³ y los 750 kg/m³. De tal manera que esta densidad es cinco veces inferior a la de la arcilla común (alrededor de 1.500 kg/m³).

El método de aplicación más usado es la mezcla de arcilla expandida con aproximadamente un 15 a 20% de cemento creando el mortero de arcilla expandida. Se usa como recocado en forjados y soleras. Del mismo modo, es una solución habitual en obras de ingeniería civil para relleno en excavaciones.

Tabla 0.2: Densidad aparente y Conductividad térmica de la arcilla expandida.

Material	Densidad Aparente [Kg/m ³]	Conductividad Térmica λ [W/m*K]
Arcilla expandida	300	0,09

Fuente: NCh 853 oficial del 2007.

2.4.3 Poliestireno expandido

Es un material plástico celular y rígido fabricado a partir del moldeo de perlas pre expandidas de poliestireno expandible o uno de sus copolímeros, que presenta una estructura celular cerrada y rellena de aire.

Se somete a altas temperaturas generadas por vapor de agua en una máquina llamada pre-expansor, el cual oscila entre los 80 y 110 grados centígrados.

De acuerdo a la temperatura y tiempo de exposición del material a la máquina, éste disminuye su densidad aparente de unos 630 kg/m³ a densidades determinadas entre los 15 a 30 kg/m³ logrando como resultado perlas de plástico celular con pequeñas celdas cerradas que contienen aire en su interior (Pazmiño, 2014).

Tabla 0.3: Densidad aparente y Conductividad térmica del poliestireno expandido.

Material	Densidad Aparente [Kg/m ³]	Conductividad Térmica λ [W/m*K]
Poliestireno expandido	10	0,043
	15	0,0413
	20	0,0384
	30	0,0361

Fuente: NCh 853 oficial del 2007.

2.4.4 Cascarilla de arroz

La cascarilla de arroz es un tejido vegetal constituido por celulosa y sílice, propiedades que le dan diferentes usos como combustible alternativo, sustituto de madera, abono de cultivos y es utilizado en el campo agrícola, de la construcción y como aislante térmico (Allauca et al, 2009).

Su estructura presenta un volumen poroso del 54%, cavidades que permanecen cerradas en tanto no se someta a un proceso de combustión.

Tabla 0.4: Densidad aparente y Conductividad térmica de la cascarilla de arroz.

Material	Densidad Aparente [Kg/m ³]	Conductividad Térmica λ [W/m*K]
Cascarilla de arroz	115	0,033

Fuente: NCh 853 oficial del 2007.

2.4.5 Aserrín

El aserrín es el conjunto de partículas o polvillo que se desprende de la madera cuando ésta es aserrada; también contiene minúsculas partículas de madera producidas durante el proceso y manejo de la misma, paneles contrachapados y/o aglomerados (Serret et al, 2016).

Tabla 0.5: Densidad aparente y Conductividad térmica del aserrín.

Material	Densidad Aparente [Kg/m ³]	Conductividad Térmica λ [W/m*K]
Aserrín	190	0,06

Fuente: NCh 853 oficial del 2007.

2.4.6 Vermiculita expandida

La vermiculita es un mineral micáceo compuesto básicamente por silicatos de aluminio, magnesio y potasio. Muy liviano, de excelente durabilidad y propiedades aislantes de origen natural.

Mediante un tratamiento rigurosamente controlado, a altas temperaturas de 800 a 1000°C, el mineral expande exfoliándose, aumenta su volumen inicial en 20 a 30 veces y se convierte en un material de color amarillo paja hasta marrón dorado, liviano y escurridizo.

Entre sus usos destaca como árido para elaborar hormigones de baja densidad, como mortero termo-acústico debido a que retiene aire entre sus fibras, otorgando propiedades para la absorción, reducción y amortiguación de los ruidos. Además por el tamaño de sus partículas absorben y aíslan el sonido, reduciendo la reverberación.

Tabla 0.6: Densidad aparente y Conductividad térmica de la vermiculita expandida.

Material	Densidad Aparente [Kg/m ³]	Conductividad Térmica λ [W/m*K]
Vermiculita expandida	100	0,07

Fuente: NCh 853 oficial del 2007.

2.4.7 Perlita expandida

La perlita es una roca volcánica de origen natural. Se caracteriza por su estructura globular y su alto porcentaje de agua combinada ligeramente. Es inerte, no higroscópica y neutra a nivel químico.

La perlita-expandida se emplea como aglomerante en los morteros aislantes y en el hormigón ligero, como aislamiento en relleno de cámaras, en ladrillos refractarios, para el recrecido de soleras, en prefabricados aislantes y ligeros, como revoque aislante acústico y térmico y como protector frente al fuego en estructuras.

Posee una densidad que varía entre 350 a 400 kg/m³ y una conductividad térmica entre 0,4 a 0,6 W/m*K.

Tabla 0.7: Densidad aparente y Conductividad térmica de la perlita expandida.

Material	Densidad Aparente [Kg/m ³]	Conductividad Térmica λ [W/m*K]
Perlita expandida	90	0,05

Fuente: NCh 853 oficial del 2007.

2.4.8 Lana mineral

Se fabrica en base a rocas ígneas con alto contenido de sílice y pequeñas cantidades de basalto y carbonato de calcio. Su alto punto de fusión, le permite mantener sus propiedades aislantes inalteradas incluso a temperaturas muy elevadas. Son materiales aislantes flexibles constituidos por un entrelazado de filamentos de minerales inorgánicos, formando una estructura, que mantiene el aire en estado inmóvil en su interior. Esta estructura hace que se obtengan productos muy ligeros con excelentes propiedades de aislamiento acústico y térmico

y una total garantía de seguridad frente al fuego.

Tabla 0.8: Densidad aparente y Conductividad térmica de la lana mineral.

Material	Densidad Aparente [Kg/m ³]	Conductividad Térmica λ [W/m*K]
Lana mineral	40	0,042
	50	0,041
	70	0,038
	90	0,037
	110	0,04
	120	0,042

Fuente: NCh 853 oficial del 2007.

2.4.9 Poliuretano

Es un polímero que se obtiene mediante condensación de bases hidroxílicas combinadas con isocianatos. Los poliuretanos se clasifican en dos grupos, definidos por su estructura química, diferenciados por su comportamiento frente a la temperatura. De esta manera pueden ser de dos tipos: poliuretanos termoestables o poliuretanos termoplásticos. Los poliuretanos termoestables más habituales son espumas, muy utilizadas como aislantes térmicos y como espumas resilientes. Entre los poliuretanos termoplásticos más habituales destacan los empleados en elastómeros, adhesivos selladores de alto rendimiento, suelas de calzado, pinturas, fibras textiles, sellantes, embalajes, juntas, preservativos, componentes de automóvil, en la industria de la construcción, del mueble y múltiples aplicaciones más (Gómez et al, 2013).

Tabla 0.9: Densidad aparente y Conductividad térmica del poliuretano.

Material	Densidad Aparente [Kg/m ³]	Conductividad Térmica λ [W/m*K]
Poliuretano	25	0,0272
	30	0,0262
	40	0,025
	45	0,0245
	60	0,0254
	70	0,0274

Fuente: NCh 853 oficial del 2007.

2.4.10 Corcho

El corcho es un material ligero celular que constituye la corteza del alcornoque y cuya composición química principal incluye suberina (40%), lignina (22%), hemicelulosa (11%), celulosa (9%) y extracto orgánico (15% -20%). Las ventajas asociadas a su baja densidad y a su estructura celular son la baja conductividad térmica, buena absorción acústica y alta

impermeabilidad. En cuanto a la aplicación de este material en compuestos a base de cemento se ha encontrado bibliografía reciente que examina el impacto del corcho utilizado como remplazo de arena o piedra, donde se comprueba que tanto el tamaño de grano, como la humedad y la edad del corcho influyen en las propiedades mecánicas, de permeabilidad y de resistencia térmica.

Tabla 0.10: Densidad aparente y Conductividad térmica del corcho.

Material	Densidad Aparente [Kg/m ³]	Conductividad Térmica λ [W/m*K]
Corcho	120	0,04

Fuente: NCh 853 oficial del 2007.

2.4.11 Cáscara de almendras

2.4.11.1 Generalidades

Fruto seco producido por un árbol llamado Almendro (*Prunus dulcis*). Es cultivado principalmente en zonas cálidas debido a su baja tolerancia al frío. Este fruto contiene muchas propiedades y vitaminas que ayudan a mantener una vida saludable. Originario de Asia Central, se da silvestre y se cultiva en el sur de Europa y en algunas zonas del Norte y Sudamérica.

El fruto es una nuececita redondeada, apiculada, de 1,5 a 2 cm. de diámetro, rodeada por un involucro carnoso en la base, dividido en diversos gajos foliáceos, laciniados y con dientes desiguales y agudos. Se recolecta desde julio a septiembre. Las semillas se emplean en confitería y en la preparación de sopas y verduras.

La variedad amarga contiene ácido cianhídrico por lo que no se usa ya que puede provocar náuseas, trastornos respiratorios, hipotermia y asfixia. Veinte almendras amargas pueden ser mortales. Se usan para tratar enfermedades de la piel, se confeccionan mascarillas de efectos nutritivos y revitalizantes. También se usan para curar quemaduras superficiales y dermatosis.

2.4.11.2 Propiedades físicas

Los almendros son árboles de dimensiones variables dependiendo de los cultivos, el medio y, sobre todo, la técnica de poda, pudiendo alcanzar hasta los 8 ó 10 metros en regadío.

Su tronco y ramas son lisos durante los primeros años y a veces con lenticelas pero se vuelven agrietados y rugosos con la edad y adquieren una coloración. Los botones de flor en invierno pueden tener formas diversas, pudiendo ser puntiagudos o redondeados, con diferencias también en su aspecto, color y pubescencia. Sus hojas son normalmente estrechas y alargadas.

Sus flores tienen cinco sépalos y cinco pétalos, con un estilo único y estambres libres, cuyo número varía de 20 a 40. Los pétalos suelen ser de color blanco y, a veces, rosado.

Las flores del almendro, igual que las de todas las rosáceas, son hermafroditas y los almendros, auto estériles, por lo que se debe recurrir a la polinización cruzada. Las dos variedades, receptora y polinizadora, deben lógicamente coincidir en época de floración y ser compatibles fisiológicamente.

Las flores son genéticamente incompatibles, por lo que requieren polinización cruzada por insectos, principalmente abejas o de otro árbol que sea compatible.

El período más adecuado para que la flor sea convenientemente polinizada es el de los tres días siguientes a su apertura y para que el transporte de polen de flor a flor se lleve a cabo, se procesa de los insectos, ya que la acción del viento es poco efectiva. Por este motivo las colmenas de abejas son muy solicitadas por los almendricultores en la época de floración.

El fruto, la almendra, es una drupa cuyo peso puede variar de 8 a 20 gramos. El mesocarpio está recubierto por una epidermis y el pericarpio suele ser pubescente (con vellosidades), aunque también existe el carácter liso. El aspecto general del fruto es verde, ligeramente coloreados de rojo en la madurez. La pulpa del mesocarpio, que puede variar de 0.5 a 1.5 cm de grosor es blanco-verdosa, aunque en otras especies también exista el carácter de carne amarilla. El mesocarpio puede ser utilizado como alimento del ganado.

El endocarpio se emplea como combustible familiar o industrial y también para la producción de aglomerados. Reducido a polvo, se le utiliza para pulir ciertos metales, para aislar el pan de la placa del horno durante la cocción o, más recientemente, como excipiente de medicinas humanas o para elaborar suelos industriales de alta tecnología contra resbaladuras en condiciones de máxima humedad (el suelo de los camiones frigoríficos, por ejemplo).

El grano o almendra tiene un peso variable de 0,5 a 1,5 gramos y con formas muy diversas. Cada fruto puede contener en el endocarpio 1 o 2 granos, pero aunque en otras épocas se buscara la presencia de granos dobles, en la actualidad la industria prefiere granos simples.

La importante renovación varietal que ha experimentado el cultivo del almendro en los últimos años ha perseguido, primeramente, mayor calidad de fruto y productividad con la floración tardía, evitando así las importantes pérdidas de cosecha por las heladas de primavera.

2.4.11.3 Superficie y producción mundial

Según las cifras de la FAO para el año 2012, la producción mundial de almendras alcanzó a 1.934.897 toneladas, con una fuerte caída con respecto a la cifra máxima del período 2002-2012: 2.663.765 toneladas registradas en el año 2010. Estados Unidos lidera la producción, con 37,2% del volumen, equivalente a 720.000 toneladas, seguido de España (11,1%), Australia (7,4%), Irán (5,2%), Marruecos (5,1%) e Italia (4,6%). La fuerte disminución de la producción de almendras en los años 2011 y 2012 estaría directamente relacionada con la reducción de la producción de Estados Unidos, que según las cifras de FAO cayó a la mitad en 2011 y se mantuvo en el mismo volumen en el año 2012. Sin embargo, las cifras publicadas por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) para las temporadas 2012-2013 y 2013-2014 registran efectivamente una caída en la producción de almendras de Estados Unidos, pero sólo de 6,9% y, posteriormente, de 2,1%, con respecto a la temporada 2011-2012, en que la industria estadounidense de almendras alcanzó su máxima producción histórica. Por lo tanto, las cifras de la FAO para la producción de Estados Unidos en los años 2011 y 2012 son discutibles, lo que también afecta a la participación de los principales países en la producción mundial y al valor absoluto de ésta señalado anteriormente.

Chile se ubica en el lugar 17 entre los mayores productores mundiales de almendras, con una participación de 1,3% en la producción mundial del año 2012, según las cifras de la FAO.

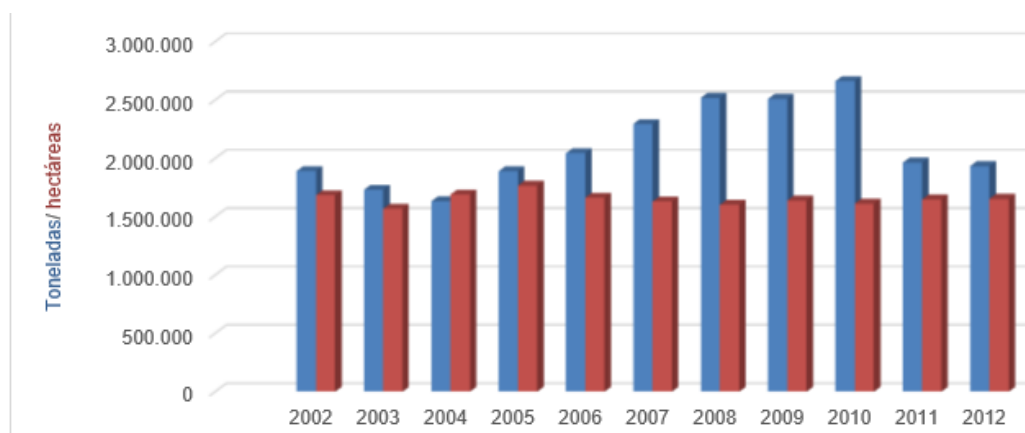


Figura 0.2: Producción mundial y superficie plantada de almendros 2002-2012.

Fuente: FAO 2014.

2.4.11.4 Superficie en Chile

Aceptando el hecho de que no hay cifras oficiales actualizadas publicadas para determinar la superficie nacional plantada de almendros, se hace una estimación de acuerdo a la información obtenida de los últimos catastros e intercatastros frutícolas de Cirén para las diferentes regiones, tomando en cuenta las últimas dos mediciones disponibles para cada una

de éstas. Se han considerado los datos de los catastros de los años 2005-2010 para la medición anterior y la medición de los años 2011-2013 como la medición reciente. Para la Región de O'Higgins se utiliza la cifra que arrojó el intercatastro de Cirén del año 2012.

La producción de almendras se distribuye entre las regiones de Coquimbo y del Maule, concentrándose la mayor superficie en las regiones Metropolitana y de O'Higgins.

La superficie nacional plantada de almendros registró un aumento de 12,8% entre los dos períodos de análisis (2005-2010, 2011-2013), aumentando en 977 hectáreas, desde 7.616 hectáreas a 8.594 hectáreas. El área plantada con almendros sólo representa 2,8% del total de la superficie frutícola nacional, bajando levemente su participación en los años 2012 y 2013, luego de un período de aumento entre los años 2007 y 2011 (Bravo, 2014).

Tabla 0.11: Superficie de almendros en Chile.

Medición de la superficie de almendros (2011-2013)							
	Coquimbo 2011	Valparaíso 2013	Metropolitana 2013	O'Higgins 2012	Maule 2013	Bio-Bio 2012	Total Estimado
Hectáreas	1292,8	1043,3	3412,1	2804,6	33	7,8	8593,6
Participación (%)	15	12,1	39,7	32,6	0,4	0,1	100

Medición de la superficie de almendros (2005-2010)							
	Coquimbo 2005	Valparaíso 2008	Metropolitana 2010	O'Higgins 2009	Maule 2007	Bio-Bio 2006	Total Estimado
Hectáreas	364,8	937,1	3496	2780,3	34	4,1	7616,3
Participación (%)	4,8	12,3	45,9	36,5	0,4	0,1	100

Fuente: Odepa, con catastros de Cirén.

La Región Metropolitana mantiene el liderazgo en superficie plantada en las dos mediciones, aunque bajando su participación desde 45,9% a 39,7% y el área plantada desde 3.496 hectáreas a 3.412 hectáreas. La Región de O'Higgins se ubica en segundo lugar, bajando su participación desde 36,5% a 32,4%, pero incrementándose el área plantada desde 2.780 hectáreas a 2.805 hectáreas, según las cifras del intercatastro de 2012. La Región de Coquimbo experimentó la mayor expansión del área plantada con almendros a nivel nacional, incrementando su participación desde 4,8% a 15,0% entre los dos períodos y aumentando su superficie en 928 hectáreas, al pasar desde 365 hectáreas a 1.293 hectáreas plantadas. Finalmente, la Región de Valparaíso prácticamente mantuvo su participación, aumentando el área plantada en 106 hectáreas, desde 937 hectáreas a 1.043 hectáreas.

2.4.11.5 Producción en Chile

No existen datos oficiales respecto de la producción nacional de almendras. Sin embargo, según el INC (Consejo Internacional de Frutos Secos y de Nuez), la producción chilena alcanzó 22.000 toneladas (base con cáscara equivalente) en el año 2012.

El rendimiento productivo de los almendros ha experimentado un alza importante, de acuerdo a la producción informada en los catastros de Cirén. Así, el rendimiento informado en el catastro frutícola de Cirén de la Región Metropolitana se ha incrementado sustancialmente, desde 2,4 toneladas por hectárea en el año 2010 a 4,3 toneladas en el año 2013. El catastro de la Región de Valparaíso registró una producción de 3,6 toneladas por hectárea en el año 2008, rendimiento que se incrementó a 4,9 toneladas por hectárea según el catastro del año 2013. La densidad de plantación ha ido aumentando también en los últimos años, desde 380 a 400 plantas por hectárea en estas dos regiones, y a una mayor densidad en la Región de Coquimbo, que registraba 490 plantas por hectárea en el año 2005, pasando a 540 plantas por hectárea en el año 2011.

Tabla 0.12: Variedades de almendros en Chile.

	Superficie plantada por variedad de almendros por región					
	Coquimbo 2011	Valparaíso 2013	Metropolitana 2013	O'Higgins 2012	Maule 2013	Total
Superficie	1293	1043	3412	2805	33	8586
Variedad	Hectáreas					
Nonpareil	703	552	2147	1306	25	4733
Carmel	220	246	627	552	2	1647
Price	59	132	117	123	2	433
Solano	46	58	141	135	2	382
Fritz	83	27	44	148	1	303
Merced	1	6	49	40	1	97
Marcona	53	0	32	0	0	85
Otras	128	22	255	501	0	906

Fuente: Odepa, con catastros de Cirén.

La superficie plantada de almendros está dominada por la variedad Nonpareil, la cual se encuentra en el 55% del área plantada a nivel nacional. La sigue la variedad Carmel, la cual abarca el 19% de la superficie nacional. Es decir, estas dos variedades representan 75% del área plantada con almendros en el país. Otras variedades como Price, Solano y Fritz cubren otro 13% de la superficie. El restante 12% está constituido por un número muy atomizado de variedades.

2.4.11.6 Utilidad de la cáscara de almendras

2.4.11.6.1 Biocombustible

La cáscara de almendras es un producto totalmente natural que, debidamente tratado, constituye el mejor biocombustible sólido del mercado.

Un biocombustible más económico, con un rendimiento calorífico igual o superior y más beneficioso para la caldera que el pellet o el hueso de aceituna. Sorprende su gran poder calorífico, debido a su dureza y composición, siendo además 100% sostenibles para el medio ambiente, sin emisiones de CO₂ ni aditivos.

Algunas de las características técnicas de la cáscara de almendras son las siguientes:

- Poder calorífico 4,8 KWh/Kg.
- Humedad < 11%
- Cenizas 0,93%
- Densidad 500 Kg/m³

Debido a que existe una gran variedad de almendras, las características técnicas de la cáscara de almendras indican sólo un promedio de los valores mencionados.

3 Programa Experimental

3.1 Metodología de la investigación

La metodología para esta investigación se expresa en la figura 3.1 en la cual se muestran las principales etapas y procedimientos a realizar.

La primera etapa consiste en una exhaustiva revisión del estado del arte que permita justificar el estudio de esta investigación y así plantear los objetivos. Además averiguar la normativa térmica y de morteros existente para crear los métodos a desarrollar acorde con dicha normativa.

Hay que identificar las características (densidades, granulometrías, pretratamiento del agregado, entre otras) de los materiales a utilizar, ya sean cáscara de almendras, cemento y arena. Además de realizar el pretratamiento a la cáscara de almendras para neutralizar la materia orgánica. Estos resultados servirán para confeccionar la dosificación del mortero patrón y los morteros modificados con la cáscara de almendras. Luego de realizar dicho mortero, se deben hacer los ensayos establecidos en la Norma Chilena 2256 oficial del 2001 (Requisitos generales para morteros). Posteriormente a esto se elige el mortero, que cumpla con los requerimientos mínimos de la norma y además contenga el mayor porcentaje de cáscara de almendra, al cual se le hará el ensayo de aislación térmica y se comparará con una muestra patrón.

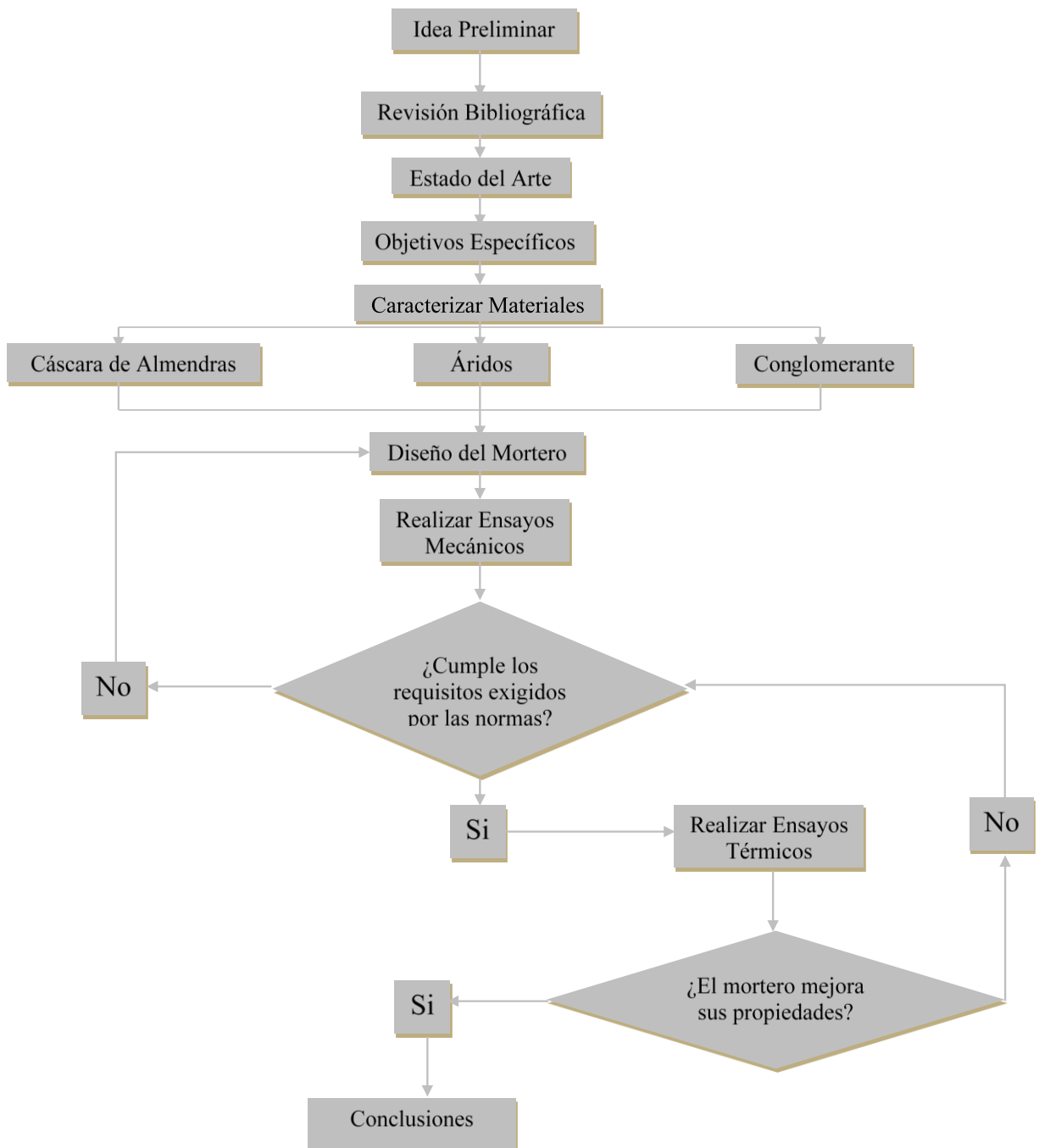


Figura 0.1: Metodología de la investigación.

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Descripción de variables de la investigación

Esta investigación estudiará el comportamiento de un mortero de cemento modificado con cáscara de almendras el cual será expuesto a variaciones de temperatura.

Para esto se confeccionan probetas de mortero con distintos contenidos de cáscara de almendras en reemplazo de la arena en volumen aparente, según los contenidos propuestos en la tabla 3.1.

Tabla 0.1: Diseño del mortero.

Diseño del Mortero				
Tipo	1	2	3	4
Contenido de Arena (Volumen)	100%	90%	70%	50%
Contenido de Cáscara de Almendras (Volumen)	0%	10%	30%	50%

Fuente: Elaboración propia, 2017.

3.2.1 Variable independiente

Como variable independiente se considera el contenido de cáscara de almendras en la mezcla, reemplazando la arena de acuerdo a su volumen aparente.

Se realizará 4 tipos de morteros, los cuales variarán desde un 0% (muestra patrón) hasta un 50% (0%, 10%, 30%, 50%) en reemplazo del volumen de la arena.

3.2.2 Variables dependientes

Como primera instancia se considerarán como variables dependientes las establecidas en la NCh 2256/1 Oficial del año 2001.

- **Compresión:** La variable compresión corresponde a un ensayo mecánico desarrollado mediante la NCh 158 Of 1967 y representa la resistencia a la compresión de las probetas de mortero.
- **Flexión:** La variable flexión corresponde a un ensayo mecánico desarrollado mediante la NCh 158 Of 1967 y representa la resistencia a la flexión de las probetas de mortero.
- **Consistencia:** La variable consistencia corresponde al ensayo físico desarrollado mediante la NCh 2257/1 Of 1996, y representa la fluidez del mortero cemento.
- **Retentividad:** La variable retentividad corresponde a un ensayo desarrollado mediante el manual del mortero y representa la capacidad de retención de agua del mortero.

En una segunda instancia, luego de determinar el mortero con mayor porcentaje de cáscara de almendra y que cumpla con los requisitos mínimos de la norma, se probará el material frente variaciones de temperatura.

- Aislación térmica: La variable aislación térmica corresponde a un ensayo físico desarrollado mediante una adaptación de la NCh 853 Of 2007 y representa la resistencia térmica de los muros de albañilería estucados con mortero.

3.3 Selección y caracterización de materiales

3.3.1 Cemento

El cemento es un polvo finísimo de color gris, el cual al mezclarse con agua, constituye una pasta que endurece tanto al aire como bajo agua. Por la segunda de estas características y por el hecho de necesitar agua para su fraguado se le define como un aglomerante hidráulico (Zabaleta & Egaña, 1989).

Tabla 0.2: Clasificación de los cementos según su composición.

Denominación	Proporción de los componentes		
	Clique	Puzolana	Escoria
Portland	100%	-	-
Portland Puzolánico	≥70%	≤30%	-
Portland Siderúrgico	≥70%	-	≤30%
Puzolánico	50-70%	30-50%	-
Siderúrgico	25-70%	-	30-75%

Fuente: NCh 148 of 1968.

El cemento a utilizar corresponde al tipo Portland Puzolánico, grado corriente según la Norma Chilena 148 Of.68, entendiéndose por éste a aquellos cementos cuya composición tendrá una proporción no superior al 30% de puzolana en el peso del producto terminado.

3.3.2 Árido

Estos áridos deben estar siempre conformados por partículas duras, las cuales deben ser de forma y tamaño estables, además deben estar perfectamente limpias y libres de terrones, partículas laminadas o blandas, arcillas, sales, impurezas orgánicas y otro tipo de sustancias que por su cantidad o su naturaleza puedan afectar la resistencia y durabilidad de los hormigones y morteros, de acuerdo a los valores límites establecidos en la norma NCh 163 of.2013 “Áridos para morteros y hormigones – Requisitos generales”.

Para la elaboración del mortero se utilizará árido fino denominado arena. La arena debe cumplir con lo establecido en la Nch 163 con la excepción de la composición granulométrica, para la cual se establecen los siguientes criterios:

- Criterio de cumplimiento de bandas granulométricas: Cuando la arena cumpla con las bandas granulométricas que corresponda según el mortero a fabricar, éstas se pueden utilizar sin requerir ensayos previos de comportamiento.
- Condición de contenidos de granos finos de arena: La norma NCh 163 “Requisitos generales de los áridos” especifica un valor máximo de 5% del peso de árido fino como contenido máximo para los granos que son de tamaño inferior a 0,080 mm para los morteros.
- Condición de porosidad: Según especifica la norma NCh 163 “Requisitos generales de los áridos” indica un valor máximo de absorción, el cual mide la porosidad de un árido, de un 3% para el árido fino de un mortero.

La arena a utilizar, será facilitada por la Universidad de Valparaíso, realizando ensayos de granulometría, densidades y absorción, según las normas Chilenas NCh 1239 Of 1977 y NCh 1116 Of 1977 respectivamente. La granulometría deberá concordar con la tabla 3.3.

Tabla 0.3: Bandas granulométricas para árido fino.

Tamices mm	Tamaño máximo, Dn, mm		
	% acumulado que pasa		
	Hormigón y mortero	Mortero	
	4,75	2,36	1,18
9,5	100	-	-
4,75	95-100	100	-
2,36	80-100	95-100	100
1,18	50-85	70-100	95-100
0,6	25-60	40-75	50-100
0,3	5-30	10-35	15-40
0,15	0-10	2-15	2-20
Módulo de finura	3,45-2,15	2,85-1,75	2,38-1,40
Retenido entre tamices 0,315 y 0,15	-	< 25	< 25
% retenido entre dos tamices sucesivos	-	< 45	

Fuente: Nch 163 of 2013 “Áridos para morteros y hormigones, requisitos generales”.

3.3.3 Agua

El agua, desempeña un rol importante en su calidad de componente del mortero, ya que participa en el proceso de hidratación del cemento y le otorga la trabajabilidad necesaria, siendo determinante para definir su fluidez. Participa en los dos estados que se puede presentar el mortero: fresco y endurecido (Zabaleta & Egaña, 1989).

Se utilizará agua potable, la cual cumple con los requisitos de la norma Chilena NCh 1498 Of 2012.

3.3.4 Cáscara de almendras

Para la confección de la mezcla de mortero, se utilizará cáscara de almendras proveniente del fundo Los Coroneles, Olmué.

Antes de incorporar las cáscaras al mortero, se le debe realizar un pretratamiento para eliminar la materia orgánica presente. Luego, determinar granulometría y densidades.

- Previo al pretratamiento

Para determinar si realmente era necesario realizar el pretratamiento, se realizó un procedimiento indicado por la norma guatemalteca Coguanor NTG-41010 h4 –equivalente a la norma ASTM C40 y ASTM C 87-03 - la cual se basa en la determinación de materia orgánica en los agregados finos para hormigón.

Tal como se ha dicho anteriormente, la cáscara de almendras se utilizará como reemplazo parcial del agregado fino del mortero, es por ello que se efectuará este ensayo para determinar las impurezas orgánicas que contiene la cáscara de almendras.

La prueba consiste en colocar al interior de un recipiente de vidrio transparentes un determinado volumen de cáscara de almendras, añadiendo a continuación una solución de hidróxido de sodio al 3% en un volumen ligeramente mayor que el de la cáscara. Se tapa el recipiente se agita vigorosamente de forma tal que la solución se mezcle completamente con todas las partículas de la cáscara de almendras y se deja reposar. Al cabo de 24 horas se observa la intensidad de coloración de la solución y se compara visualmente con la escala de colores de Gardner (Joseph et al, 1997), esta escala va desde amarillo claro a café oscuro y numeradas del 1 (más claro) al 5 (más oscuro), mientras más oscuro más impurezas contiene.

3.3.4.1 Pretratamiento de la cáscara de almendras

La cáscara de almendras al ser un material orgánico, es probable que impida el fraguado de la mezcla mortero cemento, para prevenir este efecto, se propone la siguiente solución empleada por (Serrano Et al, 2012) en la elaboración de un mortero cemento, con agregado cáscara de arroz, el cual utiliza el hidróxido de sodio para neutralizar la materia orgánica del agregado.

Luego de este procedimiento, se realizará la molienda de la cáscara de almendras mediante la máquina de Los Ángeles en las dependencias del laboratorio de la Universidad de Valparaíso, buscando una granulometría muy similar a la arena.

3.3.4.2 Densidad real, aparente y absorción de la cáscara de almendras

Para calcular la densidad real primero debemos saber si la cáscara flota en el agua, si no flota se puede ocupar el método del picnómetro con agua destilada sin problema, si llegara

a flotar debemos utilizar el método del picnómetro con un líquido más denso como lo es la vaselina.

- Densidad real: Para obtener los valores de esta densidad, se utiliza el método del picnómetro utilizando vaselina como líquido picnométrico (Suárez & Beatón, 2001), mediante el siguiente procedimiento:
 1. Pesarse el picnómetro vacío para determinar su volumen exacto. Luego, llenar con agua destilada y volver a pesar. Por último, llenar el picnómetro con vaselina y registrar su peso.

Nota: Secar cuidadosamente el picnómetro en el horno después de cada pesaje. Con estos valores se procede a determinar la densidad relativa de la vaselina mediante la siguiente fórmula.

$$\rho \text{ relativa vaselina} = \left(\frac{\text{Masa picnómetro} + \text{vaselina} - \text{Masa picnómetro}}{\text{Masa picnómetro} + \text{agua} - \text{Masa picnómetro}} \right) * \rho \text{ agua}$$

(Ec. 3.1)

2. Pesarse una pequeña cantidad de cáscara de almendras y luego introducirla al picnómetro registrando su masa. Luego agregar vaselina hasta llenar por completo y pesar.
3. Se determina el peso de la vaselina desplazada mediante la fórmula.

$$\text{Peso vaselina desplazada} = [\text{Peso (picnómetro} + \text{vaselina)} + \text{Peso muestra}] - [\text{Peso picnómetro} + \text{vaselina} + \text{muestra}]$$

(Ec. 3.2)

$$\text{Volumen muestra} = \left(\frac{\text{Masa vaselina}}{\text{Densidad vaselina}} \right)$$

(Ec. 3.3)

$$\text{Densidad real} = \left(\frac{\text{Masa de la muestra}}{\text{Volumen de la muestra}} \right)$$

(Ec. 3.4)

- Densidad aparente: Para la determinación de la densidad aparente del agregado, se utilizará un vaso graduado, al cual se le agregará un volumen de 1000 ml de cáscara de almendras. Luego se pesa y se determina su densidad mediante la fórmula.

$$\text{Densidad aparente} = \left(\frac{\text{Masa}}{\text{Volumen}} \right)$$

(Ec. 3.5)

- Absorción de la cáscara de nuez: Para determinar la capacidad de retención de la cáscara de almendras, se utilizará la siguiente fórmula.

$$\text{Capacidad de retención de agua (\%)} = \left(\frac{PH - PS}{PS} \right) * 100$$

(Ec. 3.6)

Donde:

PH: Peso húmedo de la muestra (gr)

PS: Peso seco de la muestra (gr)

3.3.5 Diseño del mortero

Para la realización del mortero con agregado de cáscara de almendras se utilizará como guía el Manual del Mortero de Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón.

Se confeccionarán probetas con 4 variaciones de porcentajes de cáscara de almendras (0%, 10%, 30% y 50%), a cada porcentaje se le realizará 3 veces cada ensayo.

La utilidad del mortero será para revestimientos continuos, por lo que el contenido de agua dependerá de la consistencia que se quiere lograr de acuerdo a la NCh 2256 of 2001, la cual indica una fluidez alta en la mezcla, determinando que para la mesa de sacudidas debiese variar entre 180 mm y 200 mm, de la misma manera que lo indica el Manual del Mortero en la siguiente tabla.

Tabla 0.4: Fluidez del mortero.

Fluidez	Asentamiento de cono	Mesa de sacudidas ASTM
Baja	0-2 cm	≤ 130 mm
Media	3-8 cm	140-175 mm
Alta	9-14 cm	180-195 mm
Muy alta	15-20 cm	200-220 mm

Fuente: Manual del Mortero.

La dosificación del mortero debe cumplir con proporciones o requisitos, ya sea la cantidad de agua para la trabajabilidad solicitada, el tamaño máximo del árido, la dosis de cal y además el módulo de finura del árido a utilizar.

Para esta investigación se utilizará un tamaño máximo de 5 mm tanto de la arena y la cáscara de almendras respectivamente.

Teniendo los datos solicitados se podrá dosificar de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 0.5: Determinación de la dosis de agua y aire (l/m³) de un mortero.

% CAL	MF= 3.20			MF= 2.70			MF= 2.20			MF= 1.80			H
	< 25	25-50	> 50	< 25	25-50	> 50	< 25	25-50	> 50	< 25	25-50	> 50	
ARENA TAMAÑO MÁXIMO 5 mm													
Fluidez	Dosis de agua y aire (l/m ³)												
Baja	260	265	270	280	285	290	310	315	320	350	355	360	30
Media	270	275	280	290	295	300	320	325	330	360	365	370	30
Alta	290	295	300	310	315	320	340	345	350	380	385	390	40
Muy alta	310	315	320	330	335	340	360	365	370	400	405	410	40

Fuente: Manual del Mortero. Tabla 7.1.

Los morteros se pueden dosificar por proporciones, estas pueden ser por peso o volumen según corresponda:

Para esta investigación el diseño del mortero se realizará en peso de acuerdo a las recomendaciones establecidas en la normativa vigente. Para las proporciones especificadas en peso, habitualmente las dosificaciones se expresan de la siguiente forma:

Cemento: arena = 1: f

f: representa la proporción en peso de la arena en relación al cemento.

Y, en consecuencia si C, F son las cantidades en peso por metro cúbico de mortero, se tendrá igualmente:

$$F = fC$$

En base a estos términos, la relación básica queda de la siguiente manera:

$$\frac{C}{p_c} + \frac{fC}{p_f} + A + H = 1000$$

(Ec. 3.7)

De donde se deduce:

$$C = \frac{(1000 - A - H)}{\frac{1}{p_c} + \frac{f}{p_f}}$$

(Ec. 3.8)

Para determinar el valor de C, es necesario previamente extraer los valores de A y de H de la Tabla 3.5.

3.3.6 Ensayos físicos y mecánicos

Los ensayos a realizar para la primera etapa de esta investigación, corresponden a:

- Consistencia.
- Retentividad.
- Resistencia mecánica.

3.3.6.1 Consistencia

La consistencia es el grado de fluidez del mortero fresco que depende fundamentalmente de la fase líquida y del contenido y características de los componentes sólidos. El ensayo se realiza según la NCh 2257/1 Of 1996 mediante el método del extendido en la mesa de sacudidas, el cual consiste en medir la variación de diámetro que experimenta un tronco de cono de mortero, al ser sometido a 25 golpes en la mesa de sacudidas. La normativa recomienda que se consideren consistencias medidas según el extendido en la mesa de sacudidas entre 180 mm y 200 mm (tipo plástica) para estucos colocados manualmente.

Tabla 0.6: Clasificación de morteros por consistencia.

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

Fuente: NCh 2256/1 of 2001. Tabla 2.

3.3.6.2 Retentividad

La Retentividad es la capacidad del mortero de retener el agua de amasado ante sollicitaciones externas de absorción o succión. El método, consiste en medir de forma porcentual el agua de exudación acumulada en la superficie de una muestra contenida en un recipiente de dimensiones normalizadas después de dejarla en reposo durante dos horas (Manual del Mortero).

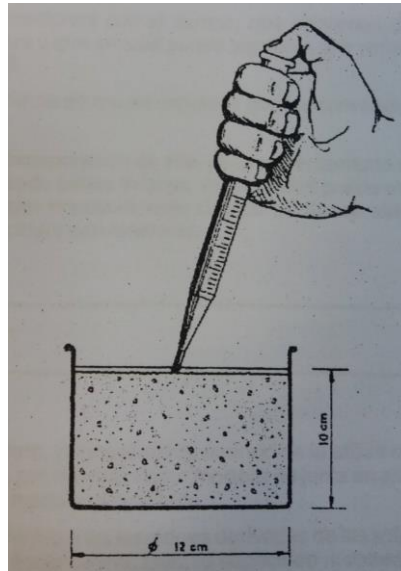


Figura 0.2: Medición del agua de exudación del mortero.

Fuente: Manual del Mortero.

Para asegurar el buen comportamiento del mortero, la norma recomienda un valor de retentividad mayor al 60%, es decir grado 2.

Tabla 0.7: Clasificación de morteros según su grado de retentividad.

Grado	% de Retentividad
1	>70
2	60-70
3	50-60
4	<50

Fuente: NCh 2256/1 of 2001. Tabla 3.

3.3.6.3 Resistencia mecánica

La resistencia mecánica se mide por el ensayo de flexión y compresión mediante la NCh 158 Of 1967 para morteros de cemento, en probetas prismáticas de 4 x 4 x 16 cm (RILEM).

Las probetas son ensayadas primero a flexión con una carga centrada y luego, cada parte de la probeta resultante, es sometida a compresión.

Para tener mayor exactitud en el ensayo de compresión, se realizarán además probetas cúbicas de 15 x 15 x 15 cm basados en la NCh 1037 of 77.

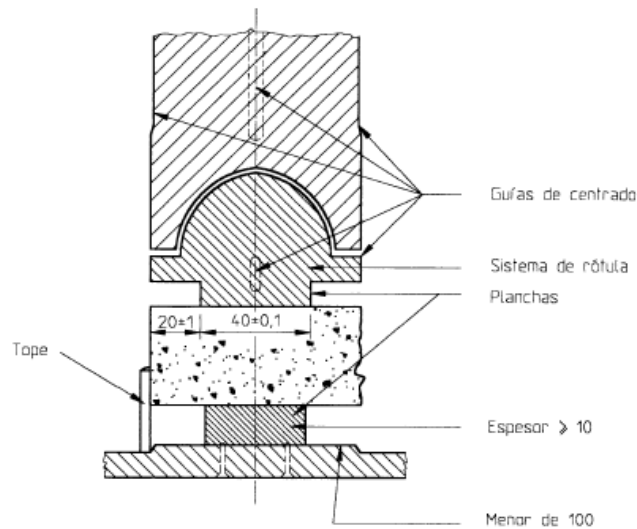


Figura 0.3: Disposición de la probeta para el ensayo de compresión.
Fuente: NCh 158 of 1967. Figura 2.

La NCh 2256/1 Of 2001, señala que la resistencia mínima recomendada, para los morteros de revestimiento continuo (estucos), debe ser de 2,5 Mpa para estucos exteriores y de 1,0 Mpa para estucos interiores valores basados en los requisitos fijados por el DIN 18555/1.

Se realizará un ensayo de flexo-tracción por cada probeta y 2 ensayos a la compresión por cada probeta (RILEM), lo cual arroja un total de 12 probetas ensayadas a la flexión y 24 ensayos a la compresión. Además, se realizarán 3 probetas cúbicas por cada porcentaje de agregado, lo cual da un total de 12 probetas más para ensayar a la compresión.

3.3.7 Ensayo de aislación térmica

Luego de haber realizado los ensayos mecánicos se selecciona la mezcla que tenga mayor contenido de cáscara de almendra y que cumpla con los requisitos mínimos establecidos para morteros, con la finalidad de obtener el mejor resultado posible en el ensayo térmico.

3.3.7.1 Selección del mortero

Es de conocimiento bibliográfico que un mortero con menor densidad debería teóricamente ser capaz de disminuir su coeficiente de conductividad térmica. Es bajo este razonamiento que se utilizarán los estucos modificados con mayores cantidades de agregado de cáscara de almendras que cumplan con la normativa de morteros para estucos y además se utiliza un mortero patrón con motivos de comparar los distintos resultados.

3.3.7.2 Ensayo térmicos

Para realizar el ensayo de la cámara térmica se tomarán como referencia dos normas chilenas:

1. NCh 851 Of 1983 Aislación Térmica - Determinación de coeficientes de transmisión térmica por el método de la cámara térmica.

2. NCh 849 Of 1987 Aislación térmica – Transmisión térmica – Terminología, magnitudes, unidades y símbolos.

Para este ensayo se hará una adaptación de la normativa, esta consiste en una cámara térmica a escala, la cual se encuentra en las instalaciones de los laboratorios docentes de la Universidad de Valparaíso. Esta cámara determinará la variación de temperatura al traspasar el muro (albañilería estucada con mortero con agregado de cáscara de almendras).

La cámara térmica a escala tiene dos compartimientos los cuales tienen las siguientes dimensiones: 100 cms de largo, 65 cms de alto y 65 cm de ancho.

3.3.7.3 Construcción de cámara térmica de elaboración propia

Los principales materiales utilizados para la elaboración de la cámara térmica corresponden a:

- Terciado de 15 mm.
- Poliestireno expandido.
- Lana de vidrio.
- Termómetro digital Xplorer GLX.
- Ampolletas de 100 watt.

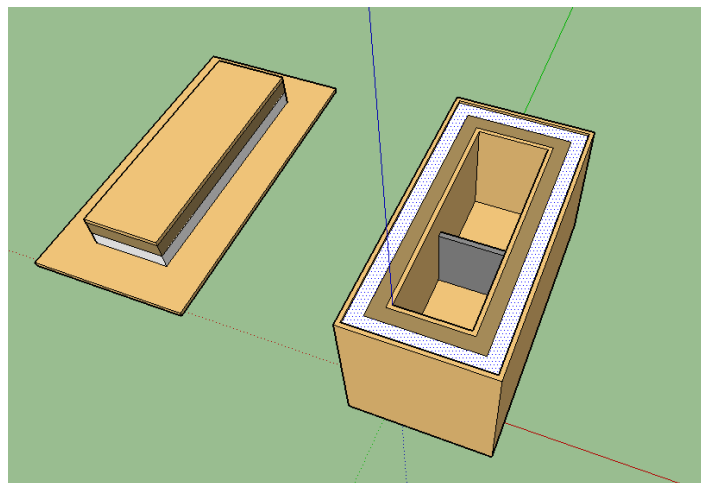


Figura 0.4: Diseño cámara térmica.
Fuente: Carlos Roa, 2015.

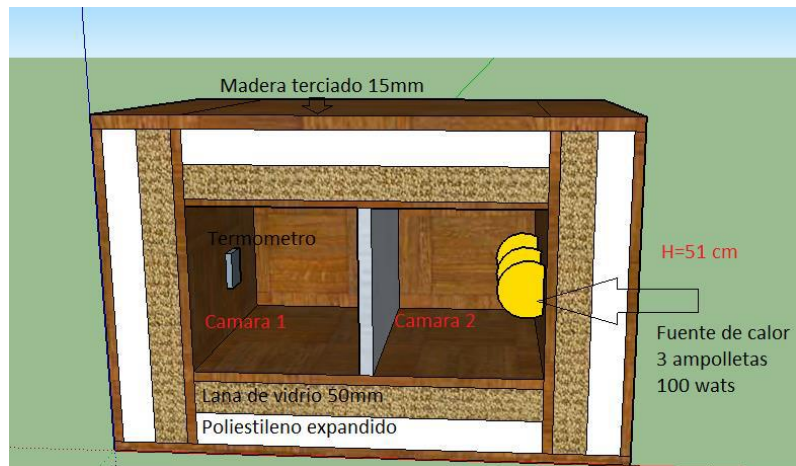


Figura 0.5: Diseño cámara térmica con detalles.

Fuente: Carlos Roa, 2015.

Esta cámara tiene la función de crear un diferencial térmico, el cual se hace separando esta cámara en dos sub cámaras. Una de ellas dispone de una fuente de calor (3 ampolletas de 100 watts de potencia), que produce el diferencial ya mencionado. Para que las mediciones sean lo más exactas posible se debe aislar las cámaras, sellando con lana mineral todas las posibles fugas de calor.

Capítulo 4:
Presentación y Análisis de Resultados

4 Presentación y Análisis de Resultados

4.1. Selección y caracterización de materiales

4.1.1. Determinación de densidades, absorción y granulometría de la arena

- Densidad real, neta y absorción de la arena

Para determinar la densidad real y neta de la arena, se procedió según la NCh 1239 Of 77 “Áridos para morteros y hormigones”- Determinación de las densidades real y neta de la absorción de agua de las arenas.

Tabla 0.1: Resultados del procedimiento de densidad real.

ARENA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	PROMEDIO
MATRAZ CON AGUA (gr) - Ma	684,3	684,1	684,2
MATRAZ CON MUESTRA (gr) - Mm	741,2	741	741,1
Msss (gr)	92	92	92
Ms (gr)	90,9	91	90,95
ρ NETA (Kg/m ³)	2674	2669	2671
ρ REAL SECA (Kg/m ³)	2590	2593	2591
ρ REAL SSS (Kg/m ³)	2621	2621	2621
% ABSORCIÓN	1,2	1,1	1,2

Fuente: Elaboración propia, 2017.

- Determinación de las densidades aparente suelta y aparente compactada de la arena.

Para determinar estas densidades se procedió según la NCh 1116 Of 1977 “Áridos para morteros y hormigones”- Determinación de la densidad aparente, donde se logró determinar la densidad aparente suelta y aparente compactada.

La Tabla 4.2 presenta los resultados obtenidos en laboratorio de tres muestras para la densidad aparente suelta de la arena.

Tabla 0.2: Densidad aparente suelta de la arena.

ARENA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	PROMEDIO
PESO MUESTRA + TACHO (gr)	3210,1	3222,7	3216,4
D. AP SUELTA (gr/cm ³)	1,697	1,710	1,703
D. AP SUELTA (Kg/m ³)	1697	1710	1703

Fuente: Elaboración propia, 2017.

La Tabla 4.3 presenta los resultados obtenidos en laboratorio de dos muestras para la densidad aparente compactada de la arena.

Tabla 0.3: Densidad aparente compactada de la arena.

ARENA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	PROMEDIO
PESO MUESTRA + TACHO (gr)	3348,5	3348,4	3348,45
D. AP COMPACTADA (gr/cm ³)	1,835	1,835	1,835
D. AP COMPACTADA (Kg/m ³)	1835	1835	1835

Fuente: Elaboración propia, 2017.

- Determinación de granulometría de la Arena.

La granulometría se desarrolló por medio de los procedimientos descritos en la NCh 165 Of 1977, teniendo por objetivo determinar las respectivas cantidades en que se presentan las partículas de ciertos tamaños en el material, y compararlas con las bandas granulométricas establecidas en la NCh 163 Of 2013.

La Tabla 4.4 presenta los resultados obtenidos en laboratorio para la granulometría de la arena.

Tabla 0.4: Granulometría de la arena.

TAMIZ	RETENIDO			%	%	BANDA GRANULOMETRICA NCH163OF2013
ASTM	gramos	PARCIAL	ACUMULADO	QUE PASA	QUE PASA CORREGIDO	
3/8"	4,1	0,3	0,3	100		100-100
N°4	244,0	16,9	17,2	83	100	95-100
N°8	233,8	16,2	33,4	67	81	80-100
N°16	143,2	9,9	43,3	57	69	50-85
N°30	96,1	6,7	50,0	50	60	25-60
N°50	208,9	14,5	64,5	36	43	5-30
N°100	460,2	31,9	96,4	4	5	0-10
BAJO 100	52,6	3,6	100,0	0		

Fuente: Elaboración propia, 2017.

La figura 4.1 presenta el gráfico de la granulometría de la arena y su comparación con los requisitos granulométricos.

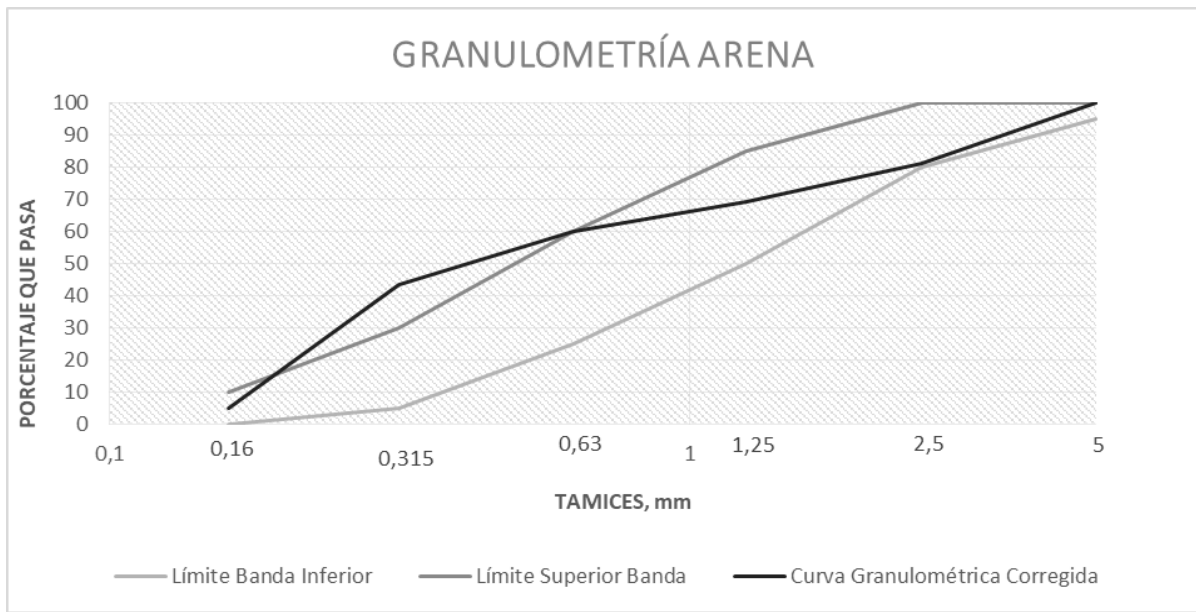


Figura 0.1: Gráfico Granulometría de la arena.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

De acuerdo a los resultados obtenidos, la arena utilizada ha sido clasificada según el tipo de granulometría indicado en la NCh 163 Of 2013 como arena media o normal, presentando un módulo de finura de 2,42 y cumpliendo con las bandas exigidas para usar este material en la confección de morteros a excepción del tamiz N° 50 que sobrepasa el rango requerido.

4.1.2 Separación de la cáscara de almendras

Previo a la utilización de la cáscara de almendras se debe realizar la separación de dichas cáscaras (endocarpio y mesocarpio), ya que solo se utilizará la cáscara más dura y que además tiene un proceso de degradación más tardío que el mesocarpio.



Figura 0.2: Endocarpio y mesocarpio de la almendra.
Fuente: Elaboración propia, 2017.



Figura 0.3: Endocarpio de la almendra.
Fuente: Elaboración propia, 2017.

4.1.3 Granulometría cáscara de almendras (materia prima)

En esta fase sólo se realizó una granulometría para determinar cómo viene la materia prima y compararla con la granulometría de una arena descrita en la NCh 163 Of 2013.

Tabla 0.5: Granulometría de la cáscara de almendras sin procesar.

TAMIZ	RETENIDO			%	%	BANDA GRANULOMETRICA NCH1630F2013
ASTM	gramos	PARCIAL	ACUMULADO	QUE PASA	QUE PASA CORREGIDO	
3/8"	68,8	18	18	82		100-100
N°4	145,3	38	56	44	100	95-100
N°8	103,6	27	82	18	40	80-100
N°16	33,8	9	91	9	20	50-85
N°30	18,9	5	96	4	9	25-60
N°50	9,7	3	99	1	2	5-30
N°100	3,5	1	100	0	0	0-10
BAJO 100	1,5	0	100	0		

Fuente: Elaboración propia, 2017.



Figura 0.4: Granulometría de la cáscara de almendras.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

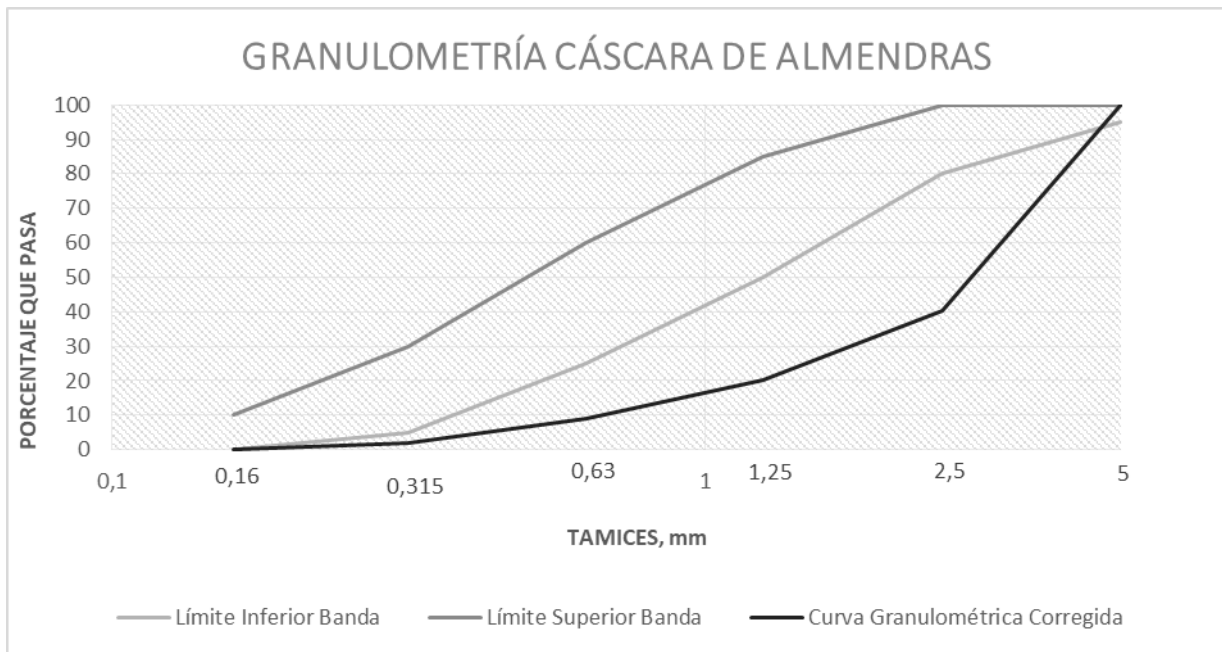


Figura 0.5: Gráfico Granulometría de la cáscara de almendras.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Según lo señalado por la norma NCh 163 Of 2013 el módulo de finura para áridos finos - tamaño máximo en la malla N° 4 - se establece como aceptable en el rango 2.15 – 3.45.

Al realizar la granulometría se logra determinar que el módulo de finura que presenta la cáscara de almendras tiene un valor de 4,28, el cual al ser comparado con la NCh 163 Of 2013, queda fuera del límite establecido en dicha norma, sin embargo se debe tener presente que este ensayo es de carácter estimativo.

4.1.4 Molienda de la cáscara de almendras

La molienda de la cáscara, se realizó utilizando la máquina de desgaste de los Ángeles. El material obtenido de la molienda fue tamizado en la malla N°4, pasando el 100% de la masa total.

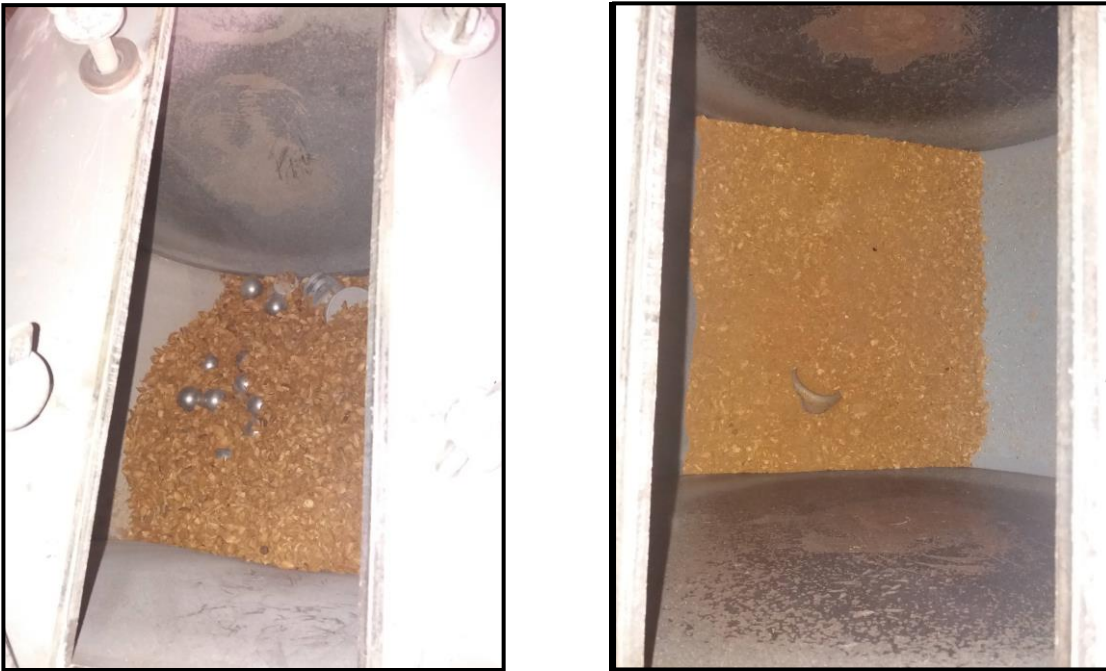


Figura 0.6: Molienda cáscara de almendras en la máquina de Los Ángeles.

Fuente: Elaboración propia. 2017.

4.1.5 Granulometría cáscara de almendras molida

En esta etapa se realizó una granulometría para determinar cómo quedó la cáscara después de la molienda en el desgaste de Los Ángeles y compararla con la granulometría de una arena descrita en la NCh 163 Of 2013.

Tabla 0.6: Granulometría de la cáscara de almendras molida.

TAMIZ	RETENIDO			%	%	BANDA GRANULOMETRICA NCH163OF2013
ASTM	gramos	PARCIAL	ACUMULADO	QUE PASA	QUE PASA CORREGIDO	
3/8"	1,6	1,1	1,1	99		100-100
N°4	20,8	15,3	16,4	84	100	95-100
N°8	53,6	39,2	55,6	44	52	80-100
N°16	28,6	21,0	76,6	23	27	50-85
N°30	10,7	7,9	84,5	16	19	25-60
N°50	10,8	7,9	92,3	8	10	5-30
N°100	8,5	6,2	98,6	1	1	0-10
BAJO 100	2,0	1,4	100,0	0		

Fuente: Elaboración propia. 2017.



Figura 0.7: Granulometría de la cáscara de almendras molida.
Fuente: Elaboración propia. 2017.

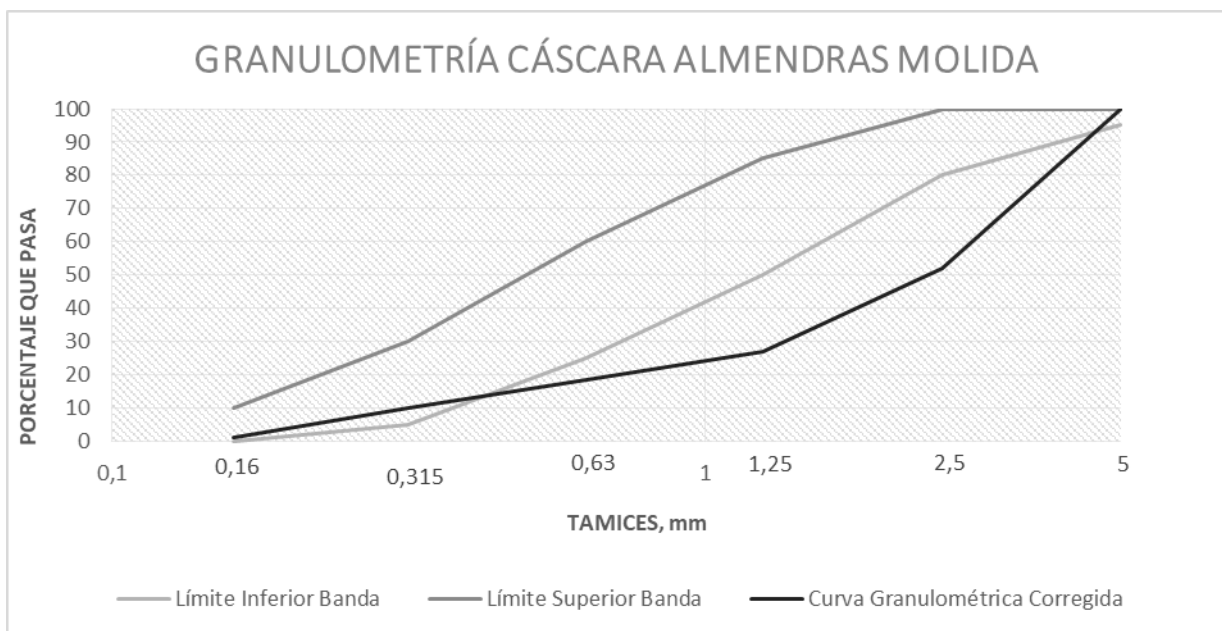


Figura 0.8: Gráfico Granulometría de la cáscara de almendras molida.
Fuente: Elaboración propia. 2017.

Con la granulometría de la cáscara de almendras ya molida, se asemeja un poco más a la granulometría de la arena obteniendo un módulo de finura de 3,91, menor a la granulometría de la cáscara de almendras sin procesar lo cual sigue estando fuera de los alcances de la Nch 163 Of 2013.

4.1.8 Determinación de densidades

- Densidad Real

Basándose en la picnometría se pudo determinar la densidad real de la cáscara de almendras, este ensayo consistió en pesar una probeta, luego en llenar la probeta graduada hasta los 100 ml con vaselina líquida, volver a pesar la probeta con la masa de vaselina hasta la marca, luego agregar 15,1 gramos de agregado y medir el volumen desplazado. Con estos datos podemos obtener la densidad de la vaselina. Teniendo como dato la masa del agregado y el volumen desplazado podemos calcular la densidad real del mismo. La siguiente tabla presenta los resultados de la densidad real de la cáscara de almendras.



Figura 0.9: Materiales para realizar densidad real de la cáscara de almendras.

Fuente: Elaboración propia. 2017.

Tabla 0.7: Densidad real de la cáscara de almendras, por picnometría.

	Masa probeta	Masa probeta + vaselina	Masa vaselina	Volumen vaselina	ρ vaselina	Masa cáscara	Volumen desplazado	ρ de la cáscara
Unidad	grs	grs	Grs	ml	Kg/m ³	grs	ml	Kg/m ³
M1	109,5	198,8	89,4	100	894	15,1	22,3	677
M2	109,5	195,9	86,4	100	864	15,1	23,1	654
M3	109,5	197,4	87,9	100	879	15,1	22,6	668
Promedio	110	197	88	100	879	15	23	666

Fuente: Elaboración propia. 2017.

- Densidad aparente.

Para la determinación de la densidad aparente suelta de la cáscara de almendras se utilizó un molde cilíndrico con volumen conocido y una balanza de precisión.

Para la densidad aparente suelta se llenó hasta rebalsar y se pasó una regla metálica, luego se pesó sin producir vibraciones en el molde evitando el ordenamiento de las partículas, este proceso de medición se realiza 2 veces. La siguiente tabla presenta los resultados de la densidad aparente suelta.

Tabla 0.8: Determinación de la densidad aparente suelta de la cáscara de almendras.

CÁSCARA DE ALMENDRAS	MUESTRA 1	MUESTRA 2	PROMEDIO
PESO MUESTRA + TACHO (gr)	1725	1725,6	1725,3
D. AP SUELTA (gr/cm ³)	0,214	0,214	0,214
D. AP SUELTA (Kg/m ³)	214	214	214

Fuente: Elaboración propia. 2017.

- Absorción de la cáscara de almendras

De acuerdo a la tabla 4.9 se obtuvo que la absorción de la cáscara de almendras dio como resultado un 7,1%.

Tabla 0.9: Absorción Cáscara de Almendras.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
Msss (gr)	15	15,3	15	
Ms (gr)	14,1	14,2	14	Promedio
% ABSORCIÓN	6,4	7,7	7,1	7,1

Fuente: Elaboración propia. 2017.

4.1.7 Mortero de prueba

Debido a la incertidumbre de si el mortero realmente fraguaría producto de la materia orgánica en la cáscara de almendras, se procedió a confeccionar un mortero de prueba con un 50% de cáscara de almendras:



Figura 0.10: Mortero de prueba con 50% de cáscara de almendras.

Fuente: Elaboración propia. 2017.

Luego de 24 horas de fraguado se revisó el mortero, este seguía blando por lo que se dejó 72 horas y se desmoldaron las probetas, obteniendo el resultado de la figura 4.11.



Figura 0.11: Mortero de prueba desmoldada.

Fuente: Elaboración propia. 2017.

No ocurrió el correcto fraguado en las probetas, por lo que se concluye que la cáscara de almendras contiene materia orgánica la cual es incompatible con el mortero, para su correcto fraguado.

4.1.7.1 Previo al Pretratamiento

Para aseverar lo descrito anteriormente, se realizó el procedimiento indicado en el ítem 3.3.4 dando a conocer el grado de materia orgánica que contiene la cáscara.

En la figura siguiente se puede apreciar el color que entregó la muestra, el cual se encuentra en el grado 5 que es el más alto de la escala, lo que indica notoriamente el alto contenido de materia orgánica que tiene la cáscara de almendras.



Figura 0.12: Coloración de la Cáscara de Almendras.
Fuente: Elaboración propia. 2017.

4.1.8 Pretratamiento de la cáscara de almendras

Basándose en el trabajo realizado por Serrano et al, 2012, se procedió a preparar una solución básica de hidróxido de sodio (NaOH), mezclando 100 ml de agua destilada con (NaOH) 1 molar, y 900 ml de agua destilada mediante la siguiente metodología:

- Se determinó la cantidad de soda cáustica a utilizar por cada 100 ml de solución. Para esto se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Molaridad (M)} \times \text{Volumen (v)} = \frac{\text{Gramos (gr)}}{\text{Peso Molecular } \left(\frac{\text{gr}}{\text{mol}}\right)}$$

(Ec. 4.1)

Donde:

El peso molecular de la NaOH = 40 (gr/mol)

Volumen = 0.1 (lt)

Molaridad = 1 (mol/lt)

Reemplazando en la ecuación 4.1:

$$1 \left(\frac{\text{mol}}{\text{lt}}\right) \times 0,1(\text{lt}) = \frac{X(\text{gr})}{40\left(\frac{\text{gr}}{\text{mol}}\right)}$$

X= 4 (gr) de NaOH en 100 ml de solución.

- Se disuelven 40 gramos de NaOH en los 1000 ml de agua destilada revolviéndolo con un agitador magnético, Luego se pesaron 1000 gramos de cáscara de almendras



Figura 0.13: Pretratamiento de la cáscara de almendras, preparación de la solución de NaOH con agua destilada.

Fuente: Elaboración propia. 2017.

- Se vertió la solución en un frasco que contenía 9000 ml de agua destilada y se agregaron los 1000 gr de cáscara de almendras. Luego se revolvió y se dejó en reposo durante 24 horas.



Figura 0.14: Pretratamiento de la cáscara reposando por 24 horas.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

- Transcurrido el tiempo, se filtró y lavó con agua destilada para posteriormente secarla en horno a 60° C hasta eliminar toda la humedad.

4.2. Dosificación del mortero

Para la confección del mortero para estuco, se utilizó una razón cemento arena de 1 es a 3 en peso. Según la tabla 7.1 del Manual del Mortero “determinación de la dosis de agua y aire (l/m³) de un mortero”, se determinó la cantidad de agua y de aire en un metro cubico de mortero, el cual se debió interpolar debido que el módulo de finura de la arena es de 2,42, dando como resultado 328 lt/m³ de agua y 40 lt/m³ de aire, junto a los datos obtenidos en los procedimientos anteriores se generó la siguiente tabla “Datos para la dosificación del mortero”.

Tabla 0.10: Datos para la dosificación del mortero.

Nombre	Nomenclatura	Cantidad	Unidad
Densidad aparente del cemento	C	1,2	Kg/lt
Peso específico real del cemento	Pc	3	Kg/lt
Peso específico real de la arena	Pf	2,62	Kg/lt
Densidad aparente suelta arena	Df	1,703	Kg/lt
Densidad aparente suelta cáscara	dalm	0,214	Kg/lt
Cantidad agua por m ³	A	328	lt/m ³
Aire por m ³	H	40	lt/m ³

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Debido a que la relación 1 es a 3 de cemento y arena, se ha especificado peso, se debió dosificar el mortero en proporción a su peso. Reemplazando en la siguiente formula:

$$C = \frac{(1000 - A - H)}{1/P_C + f/P_F}$$

(Ec. 3.8)

Dando como resultado lo siguiente:

Tabla 0.11: Dosificación en peso, mortero patrón.

Material	Cantidad	Unidad
C'	427	Kg/m ³
F'	1281	Kg/m ³
A	328	Kg/m ³

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Los resultados de la tabla anterior, se dividieron por las densidades aparentes del cemento, arena y cáscara de almendras para expresar los valores en volumen. Luego al realizar el reemplazo volumétrico de la arena por cáscara de almendras, se obtuvo la dosificación en volumen aparente para los distintos reemplazos del árido fino, de acuerdo a lo presentado en la siguiente tabla.

Tabla 0.12: Dosificación en volumen.

Unidad	Lt/m ³	Lt/m ³	Lt/m ³	Lt/m ³
% cáscara	0%	10%	30%	50%
cemento	356	356	356	356
arena	752	677	527	376
agua	328	328	328	328
vacíos	40	40	40	40
cáscara de almendras	0	75	226	376
Total	1476	1476	1476	1476

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Por motivos prácticos del trabajo de laboratorio, se cambia la unidad de medida de volumen a masa en kg. La tabla 4.13 presenta las cantidades que se utilizaron en la dosificación del mortero.

Tabla 0.13: Dosificación en volumen aparente; representado en unidad de masa.

Unidad	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³
% cáscara	0%	10%	30%	50%
cemento	427	427	427	427
arena	1281	1153	897	641
agua	328	328	328	328
vacíos	40	40	40	40
cáscara de almendras	0	16	48	80
Total	2076	1964	1740	1516

Fuente: Elaboración propia, 2017.

4.3 Resultados ensayos físicos y mecánicos

4.3.1. Ensayo de consistencia

El ensayo de consistencia a la mezcla de mortero fue realizado según la NCh 2257/1 Of 96 mediante el método del extendido en la mesa de sacudidas, el cual consiste en una mesa con un tronco cónico el cual al retirarlo, se le aplican 25 golpes en 15 segundos y se mide con un pie de metro la extensión alcanzada por la mezcla.

En la siguiente tabla se muestran los resultados del ensayo de consistencia para los distintos porcentajes de agregado de cáscara de almendras.

Tabla 0.14: Resultados ensayo de consistencia.

Consistencia				
% de cáscara de almendras	0%	10%	30%	50%
Promedio de resultados en milímetros	201	199	196	189

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Se puede apreciar que al aumentar los porcentajes de cáscara de almendras la mezcla de mortero va disminuyendo su fluidez. Esto se debe a la capacidad de absorción que tiene la cáscara de almendras.

En el siguiente gráfico se muestran los resultados del ensayo de consistencia comparado con la normativa vigente. Si bien la NCh 2256 of 2001 recomienda los valores entre 180 y 200 mm medidos en la mesa de sacudidas, no es una exigencia que deba cumplir explícitamente estos valores, pudiendo llegar a una extensión de 240 mm.

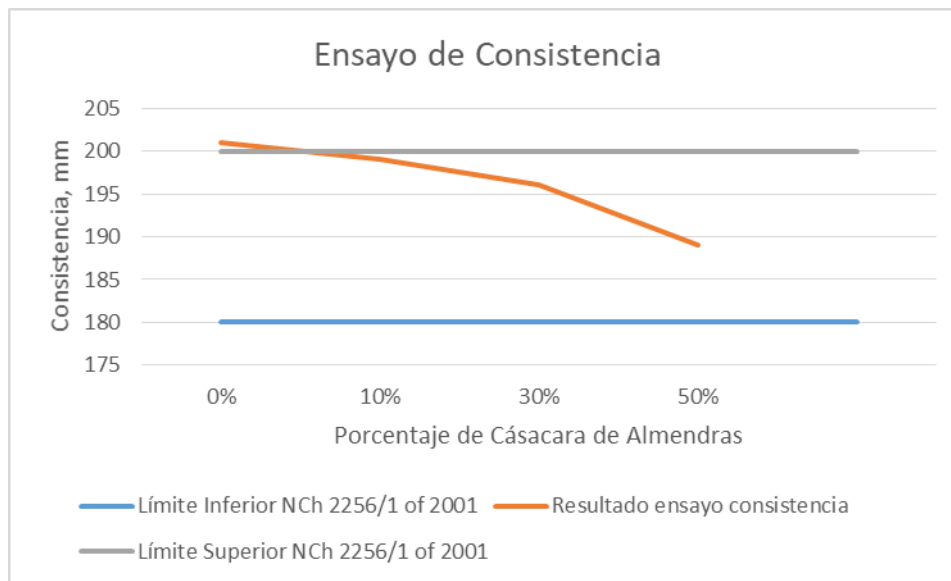


Figura 0.15: Resultados Ensayo de Consistencia.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

4.3.2 Ensayo de retentividad

El ensayo de retentividad se realizó de acuerdo a lo descrito en 3.3.6.2, el cual consistió en ver el porcentaje del agua de exudación acumulada en la superficie de la muestra contenida en el recipiente.



Figura 0.16: Consistencia muestra patrón.
Fuente: Elaboración propia, 2017.

De acuerdo a la dimensión del recipiente se obtiene la cantidad de agua para dicha muestra, la cual entrega un valor de 295 cm^3 de agua. Esta cantidad representa el 100% de la retentividad de cada muestra y lo que exude será restado de este porcentaje. La siguiente tabla muestra los resultados de 3 repeticiones para cada porcentaje a estudiar.

Tabla 0.15: Resultados Ensayo de Retentividad.

Retentividad				
% de cáscara	0%	10%	30%	50%
Muestra 1	97,60%	98,60%	100%	100%
Muestra 2	98,20%	99,30%	100%	100%
Muestra 3	96,90%	98,50%	100%	100%
Promedio	97,57%	98,80%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Ya que la cáscara de almendras tiene una alta capacidad de absorción, se genera un aumento considerable de retención del agua de amasado, llegando a retenerla en su totalidad.

Debido a que todos los resultados descritos en la tabla 4.15 superan el 70% implica que todas las mezclas realizadas son clasificadas como grado 1, cumpliendo así con la norma NCh 2256/1 of 2001.

4.3.3 Ensayos de flexión y de compresión

Previo a la confección tanto de las probetas RILEM como las cúbicas de $15 \times 15 \times 15$ cm, se pintaron los moldajes metálicos con el desmoldante, luego se preparó el mortero con la dosificación anteriormente descrita para luego pasar al llenado de los moldajes, su vibración y enrasar mediante la llana metálica. Pasadas 24 horas de fraguado, se procede a desmoldar y

pesar las probetas, continuando con el curado, sumergiendo las probetas por 27 días, para así poder ensayarlas a los 28 días.



Figura 0.17: Confección de probetas.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

En las siguientes tablas se muestran los resultados tanto de la masa y densidad de las probetas, en donde se puede apreciar la disminución en la masa de cada probeta a medida que se aumenta el porcentaje de cáscara de almendras. Esto podría ser satisfactorio, ya que al disminuir la masa manteniendo un mismo volumen indica que se produce una baja en la densidad aparente. Esta disminución en la densidad aparente del material provocará que el coeficiente de conductividad térmica se reduzca mediante el aumento de la cáscara de almendras.

Tabla 0.16: Masa Probetas RILEM.

Masa de las Probetas Rilem en grs				
% Cáscara	0%	10%	30%	50%
Muestra 1	568,2	555,2	544,4	495,3
Muestra 2	575,2	555,4	535,6	495,1
Muestra 3	576,2	544,9	542,3	488,9
Promedio	573,20	551,83	540,77	493,10
% muestra de la patrón	100	96	94	86

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla 0.17: Masa Probetas Cúbicas.

Masa de las Probetas Cubicas en grs				
% Cáscara	0%	10%	30%	50%
Muestra 1	7257,8	7112,6	6777	6462
Muestra 2	7463,1	7114	6684,2	6402,3
Muestra 3	7358,5	7114,2	6753,2	6434,9
Promedio	7359,80	7113,60	6738,13	6433,07
% muestra de la patrón	100	97	92	87

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla 0.18: Densidad aparente de Probetas RILEM.

Densidad de las Probetas Rilem en Kg/m ³				
% Cáscara	0%	10%	30%	50%
Muestra 1	2219,53	2168,75	2126,56	1934,77
Muestra 2	2246,88	2169,53	2092,19	1933,98
Muestra 3	2250,78	2128,52	2118,36	1909,77
Promedio	2239,06	2155,60	2112,37	1926,17
% muestra de la patrón	100	96	94	86

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla 0.19: Densidad aparente Probetas Cúbicas.

Densidad de las Probetas Cubicas en Kg/m ³				
% Cáscara	0%	10%	30%	50%
Muestra 1	2150,46	2107,44	2008,00	1914,67
Muestra 2	2211,29	2107,85	1980,50	1896,98
Muestra 3	2180,30	2107,91	2000,95	1906,64
Promedio	2180,68	2107,73	1996,48	1906,09
% muestra de la patrón	100	97	92	87

Fuente: Elaboración propia, 2017.

4.3.3.1 Ensayo de flexión

Para realizar este ensayo se confeccionaron 3 probetas RILEM para ensayarse a los 28 días, una vez realizado el ensayo de flexión se realiza el ensayo a compresión en cada una de las mitades sobrantes del ensayo a la flexión.

La siguiente tabla muestra los resultados al agregar los distintos porcentajes de cáscara de almendras, en la cual se produce una disminución en un 19% al agregar un 10% de cáscara de almendras comparado con la muestra patrón, luego de esto, aumenta la flexión a medida que se agrega la cáscara de almendras.

Una de las posibles explicaciones a éste resultado sería que al tener un mayor contenido de cáscara de almendras de forma irregular, ocurriría una mayor adherencia entre el árido (arena y cáscara de almendras) y la pasta de cemento.

Tabla 0.20: Ensayo de Flexión.

Ensayo Flexión en Kg/cm ²				
% Cáscara	0%	10%	30%	50%
Muestra 1	49,66	50,02	49,78	47,99
Muestra 2	54,44	37,48	39,75	44,65
Muestra 3	52,15	39,39	42,38	51,45
Promedio	52,08	42,30	43,97	48,03
% muestra de la patrón	100	81	84	92
Desviación, kg/cm ²	2,39	6,76	5,20	3,40
Coef. Variación, %	4,59	15,97	11,83	7,08

Fuente: Elaboración propia, 2017.

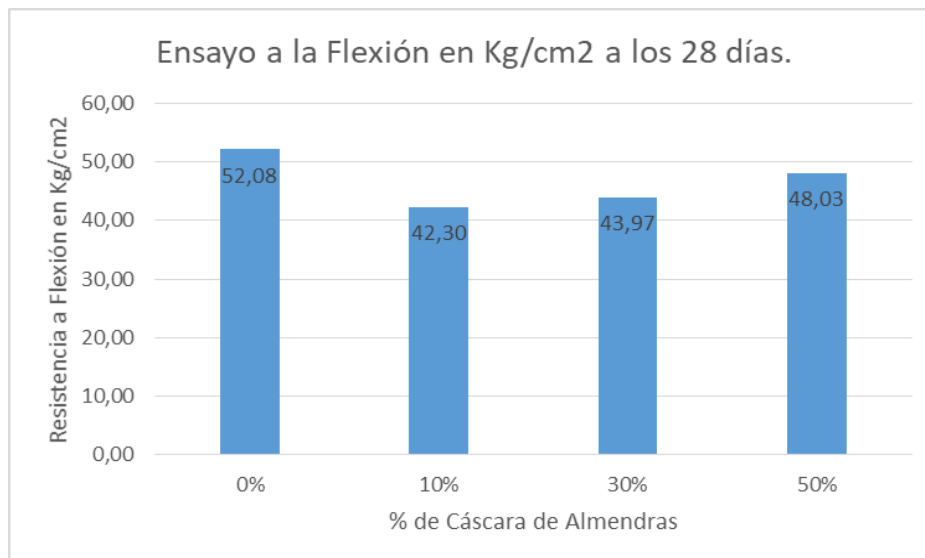


Figura 0.18: Resultados Ensayo Flexión.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

4.3.3.2 Ensayo de compresión

a) Compresión en probetas Rilem

Para realizar este ensayo se utilizan las dos mitades restantes del ensayo de flexión tomando como probetas 6 en total por cada porcentaje de cáscara de almendras, ensayándolas transcurrido los 28 días.

En la tabla 4.21 se aprecian los resultados del ensayo de compresión, el cual indica que a medida que aumenta el agregado de cáscara de almendras, disminuye hasta en un 37% la compresión comparado con la muestra patrón. Sin embargo, sigue cumpliendo con la NCh 2256/1 of 2001, el cual indica como requisito mínimo 2,5 MPa (25,5 Kg/cm²).

Tabla 0.21: Ensayo de Compresión en Probetas RILEM.

Ensayo Compresión en Kg/cm ² Probetas Rilem				
% Cáscara	0%	10%	30%	50%
Muestra 1	225,52	143,47	142,13	148,85
Muestra 2	218,35	133,61	150,2	139,89
Muestra 3	231,8	168,58	144,37	130,02
Muestra 4	213,86	169,48	166,34	148,4
Muestra 5	227,31	168,58	171,72	130,02
Muestra 6	207,14	155,13	180,69	141,23
Promedio	220,66	156,48	159,24	139,74
% muestra de la patrón	100	71	72	63
Desviación, kg/cm ²	9,23	15,20	15,89	8,36
Coef. Variación, %	4,18	9,72	9,98	5,98

Fuente: Elaboración propia, 2017.

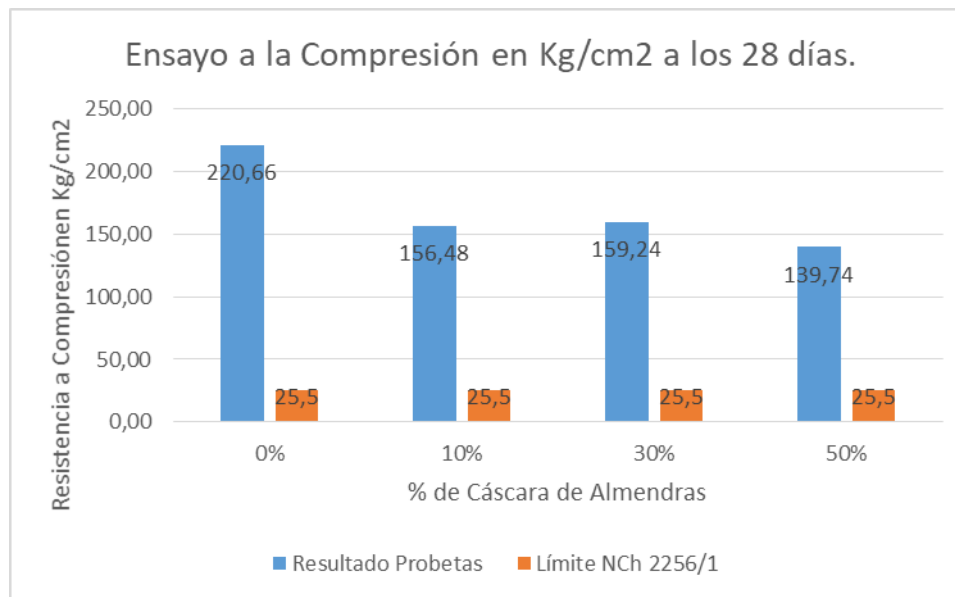


Figura 0.19: Ensayo de Compresión Probetas RILEM.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

b) Compresión en probetas cúbicas

En la tabla 4.22 se muestran los resultados a la compresión de las probetas cúbicas, en la cual ocurre una variación con respecto a las probetas Rilem pero no de gran consideración. Este ensayo será considerado como el más exacto ya que se pueden apreciar un menor coeficiente de variación que las probetas Rilem.

Tabla 0.22: Ensayo de Compresión en Probetas Cúbicas.

Ensayo Compresión en Kg/cm ² Probetas Cubicas				
% Cáscara	0%	10%	30%	50%
Muestra 1	186,27	152,59	151,77	124,79
Muestra 2	192,98	153,42	144,97	123,61
Muestra 3	190,85	153,21	146,78	124,16
Promedio	190,03	153,07	147,84	124,19
% muestra de la patrón	100	81	78	65
Desviación, kg/cm ²	3,43	0,43	3,52	0,59
Coef. Variación, %	1,80	0,28	2,38	0,48

Fuente: Elaboración propia, 2017.

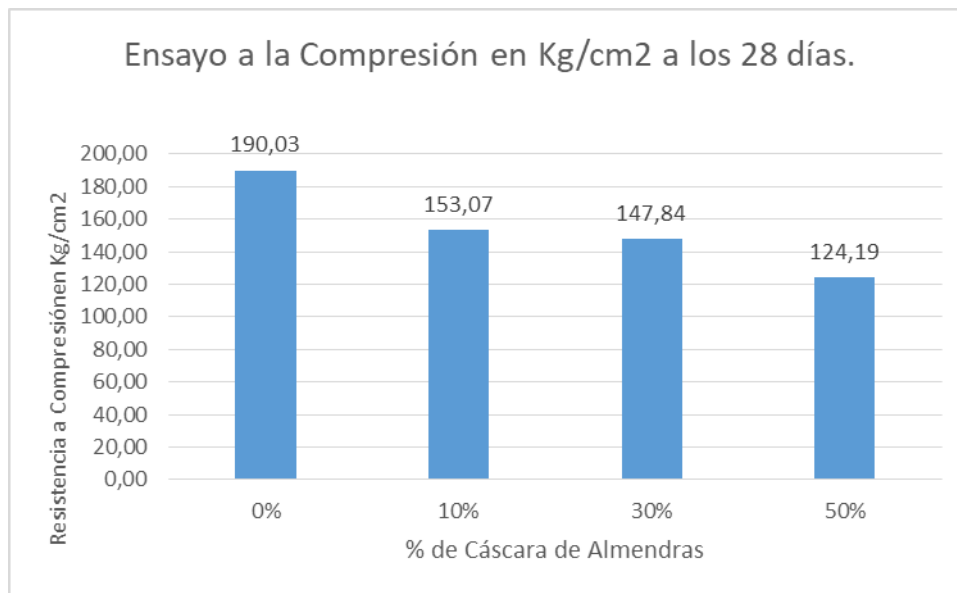


Figura 0.20: Ensayo de Compresión en Probetas Cúbicas.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

4.3.4 Ensayos térmicos

Para realizar el ensayo de aislación térmica (variación de temperaturas), se consideró el mortero con mayor porcentaje de cáscara de almendras pero que además cumpliera con la normativa respecto a la resistencia a flexión como a la compresión.

Debido a lo anterior, se llevara a cabo a la prueba en 3 tipos de muros:

- Muro de albañilería de ladrillos
- Muro de albañilería de ladrillos estucado por una cara con el mortero patrón de espesor 20 mm.
- Muro de albañilería de ladrillos estucado por una cara con un mortero modificado con un 50% de Cáscara de Almendras de espesor 20 mm.

Las dimensiones del muro son de 60 x60 x14 cm, el cual se dispuso de manera vertical al interior de la cámara térmica.

Se utilizaron como fuente calórica tres ampollitas incandescentes de 100 Watts cada una, situadas en la cámara A, perpendiculares al muro a ensayar. El período de medición fue de 240 minutos (4 horas). Se utilizaron además 4 sensores de temperatura, de los cuales dos se instalaron en la cara del muro expuesto a la fuente de calor (parte estucada) y los otros dos en la parte posterior del muro (cara sin estucar).

4.3.4.1 Muro sin estuco

Para los muros sin estucar, los valores de las temperaturas medidas por los sensores en cada cara del muro se presentan en las figuras 4.22 y 4.23. La cara expuesta a la fuente de calor en la cámara A (T1) eleva su temperatura de 18,1 °C a 37,8 °C, mientras que la cara que no se encuentra expuesta a la fuente de calor en la cámara B (T2), no presentó grandes cambios de temperatura, variando de 17,8 °C a 21,2 °C durante las 4 horas de ensayo.

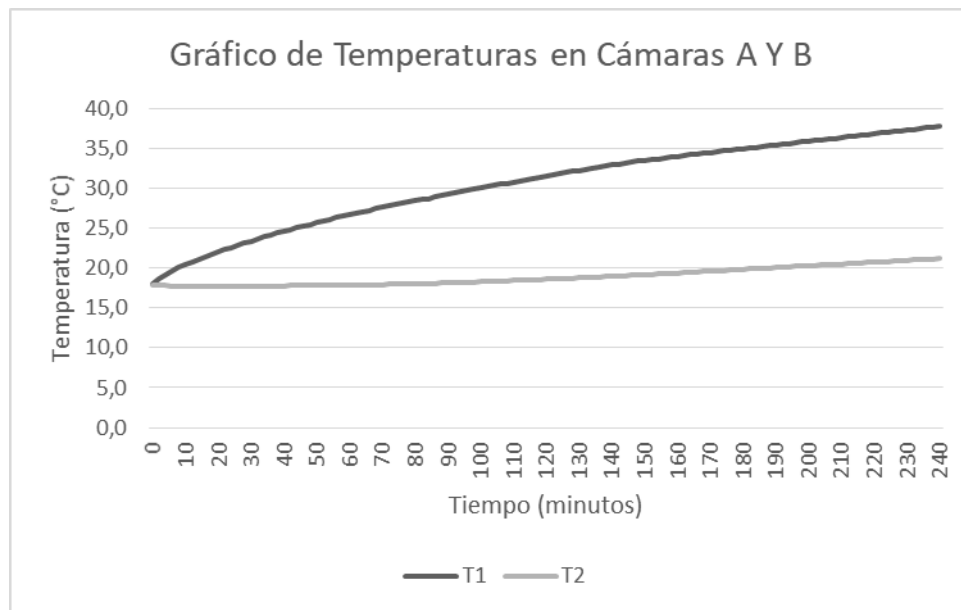


Figura 0.21: Promedio de temperaturas en ambas cámaras.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

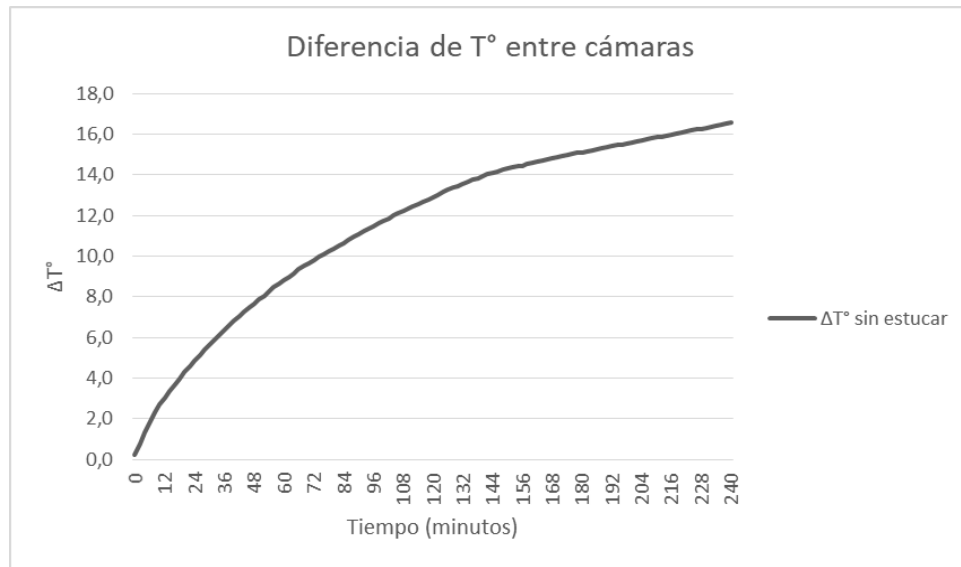


Figura 0.22: Variación de temperaturas entre cámaras.
Fuente: Elaboración propia, 2017.

4.3.4.2 Muro con estuco patrón

Para los muros estucados con el mortero patrón, los valores de las temperaturas medidas por los sensores en cada cara del muro se presentan en las figuras 4.24 y 4.25. La cara expuesta a la fuente de calor en la cámara A (T1) eleva su temperatura de 18,9 °C a 36,7 °C, mientras que la cara que no se encuentra expuesta a la fuente de calor en la cámara B (T2), no presentó grandes cambios de temperatura, variando de 18,2 °C a 19,5 °C durante las 4 horas de ensayo.

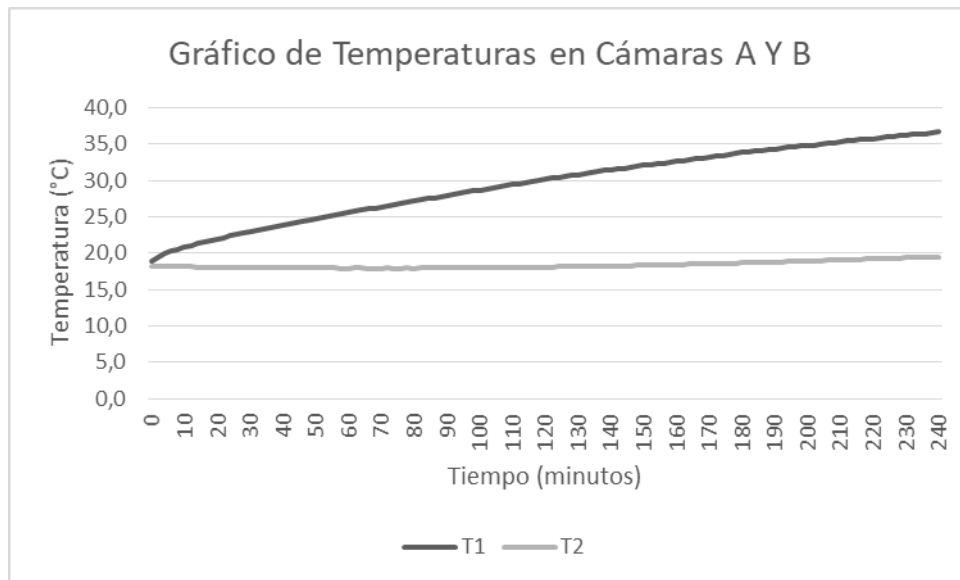


Figura 0.23: Promedio de temperaturas en ambas cámaras.
Fuente: Elaboración propia, 2017.

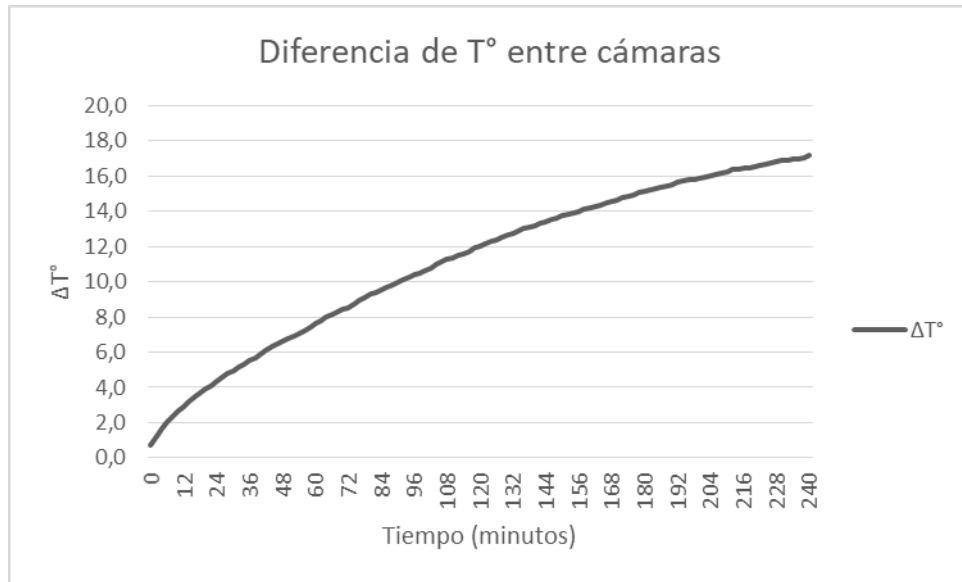


Figura 0.24: Variación de temperaturas entre cámaras.
Fuente: Elaboración propia, 2017.

4.3.4.3 Muro con estuco modificado con 50% de Cáscara de Almendras

Para los muros estucados con el mortero modificado con un 50% de cáscara de almendras, los valores de las temperaturas medidas por los sensores en cada cara del muro se presentan en las figuras 4.26 y 4.27. La cara expuesta a la fuente de calor en la cámara A (T1) eleva su temperatura de 22,3 °C a 45,2 °C, mientras que la cara que no se encuentra expuesta a la fuente de calor en la cámara B (T2), no presentó grandes cambios de temperatura, variando de 19,7 °C a 22,2 °C durante las 4 horas de ensayo.

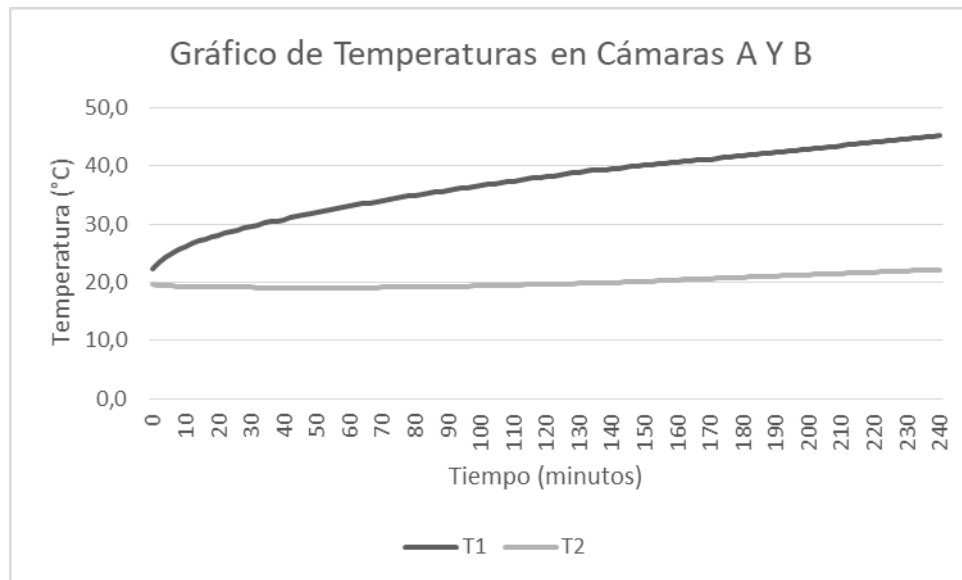


Figura 0.25: Promedio de temperaturas en ambas cámaras.
Fuente: Elaboración propia, 2017.

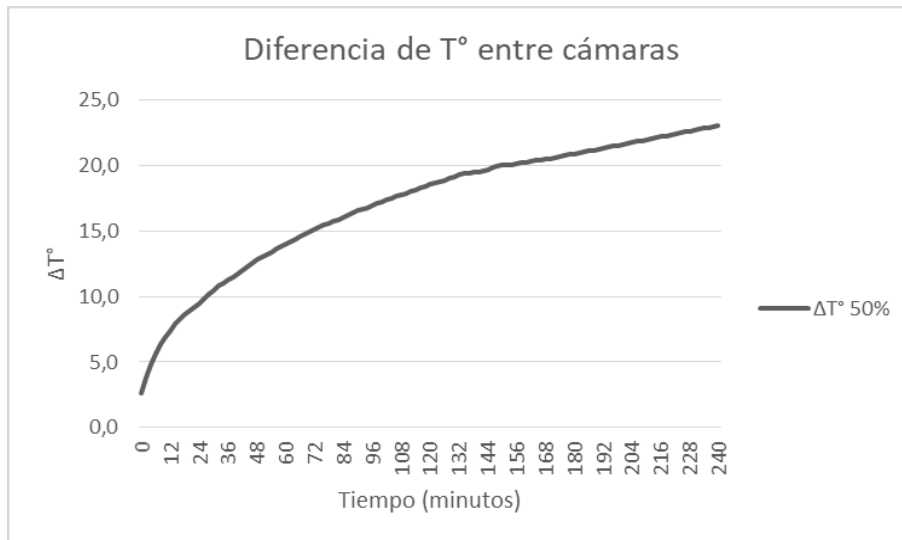


Figura 0.26: Variación de temperaturas entre cámaras.
Fuente: Elaboración propia, 2017.

Al analizar las diferencias de temperaturas entre las superficies de los 3 muros utilizados en el ensayo, se puede inferir la presencia de un aumento del diferencial de temperatura a medida que transcurre el tiempo del ensayo, donde los muros estucados con mortero modificado con cáscara de almendras presentan un 39% más de diferencial térmico lo cual indica que es un estuco con mejor aislación térmica que un estuco patrón sin cáscara de almendras. Entre el muro sin estucar y el muro estucado con el mortero patrón, ocurre un aumento del 3%, lo cual no es significativo dentro del análisis. El muro que presenta una mayor aislación térmica corresponde al muro estucado con el mortero fabricado con un 50% de cáscara de almendras.

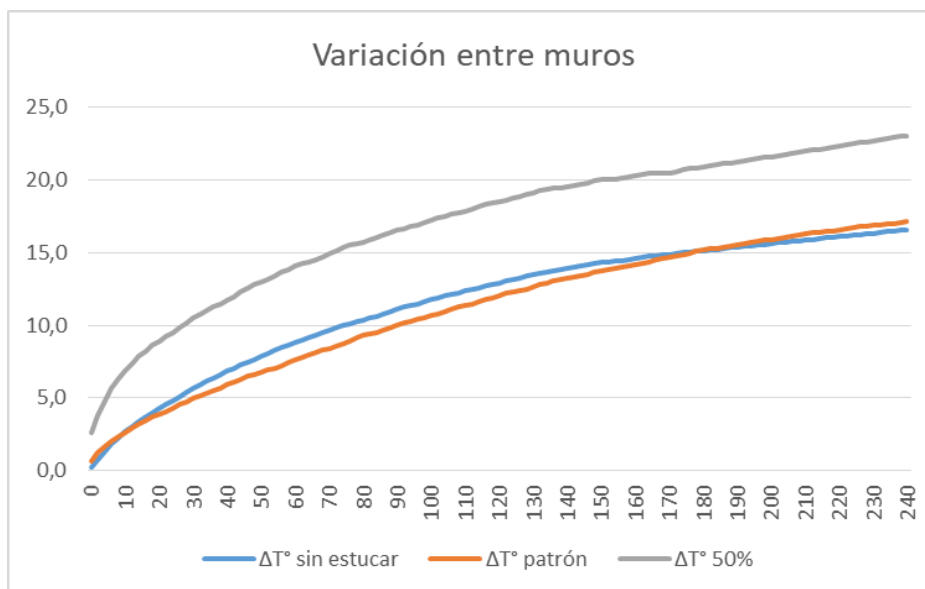


Figura 0.27: Variación entre muros.
Fuente: Elaboración propia, 2017.

Capítulo 5:
Conclusiones y Propuesta a Futuras Investigaciones

5 Conclusiones y Propuesta a Futuras Investigaciones

5.1 Conclusiones

Para su empleo en morteros u hormigones la cáscara de almendras debe someterse a neutralización de su contenido de materia orgánica.

En el ensayo de consistencia se vio una disminución del 6% con respecto a la muestra patrón, algunas de las razones pudiesen ser la forma irregular de la cáscara de almendras y la mayor capacidad de absorción de la misma, lo que lleva consigo una menor fluidez en la mezcla a medida que aumenta el porcentaje de cáscara de almendras. Sin embargo, las muestras siguen cumpliendo con lo estipulado por la NCh 2256/1 of 2001.

Con el ensayo de retentividad se demostró nuevamente que al tener la cáscara de almendras mayor porcentaje de absorción se produjo una mayor capacidad de retención de agua, llegando a retener la totalidad del agua de amasado con el mayor porcentaje de cáscara de almendras.

Al reemplazar la arena por cáscara de almendras en la mezcla del mortero, ocurre una disminución en las resistencias a flexión y a compresión, donde el mortero que contiene mayor porcentaje de cáscaras de almendras (50%), pierde un 8% de resistencia a flexión y un 35% a compresión, en comparación con el mortero patrón. Esta baja se debe a la disminución de la densidad del mortero, ya que un mortero menos denso tiene sus partículas interiores más separadas. Esto provoca un aumento en el porcentaje de vacíos dentro de la mezcla la cual si bien disminuye su resistencia mecánica debiese aumentar sus propiedades de aislación térmica.

En el ensayo de aislación térmica se comprobó una variación en las diferencias de temperaturas, ya que en el muro sin estucar dio un diferencial 16,6°C, mientras que el muro estucado con el mortero patrón dio como resultado 17,2 °C y en el muro con un 50% de cáscara de almendra se obtuvo una diferencia de 23°C. Si bien no hay una variación notoria entre en muro sin estucar y el estucado con la muestra patrón, se ve reflejado la mejora en las resistencia térmica que se produce en el muro con 50% de cáscara de almendras ya que aumenta el delta de temperatura en 6,4°C con respecto al muro sin estucar.

De esta manera se concluye que se produce una mejora en la aislación térmica al usar un mortero con un 50% de cáscara de almendras estucando un muro de albañilería. Además, todos los morteros con inclusión de cáscara de almendras cumplen con los requerimientos exigidos por la NCh 2256/1 of 2001 – Requisitos generales de los morteros - en relación a resistencia a compresión, consistencia y retentividad, por lo cual el mortero con cáscara de almendras estudiado, puede ser usado como mortero de revestimiento continuo.

5.2 Propuesta a futuras investigaciones

- Estudiar el comportamiento de morteros con cáscara de almendras para otros morteros:
 - Morteros de junta de albañilería.
 - Morteros de sobrelosa.
- Evaluar el comportamiento acústico del mortero.
- Evaluar el comportamiento ignifugo del mortero.
- Estudiar la durabilidad del mortero con agregado de cáscaras de almendras.
- Estudiar la posibilidad de incluir cáscara de almendras en hormigones corrientes o livianos.

Bibliografía

- Allauca, L., Amen, H., & Lung, J. (2009). Uso de Sílice en hormigones de Alto Desempeño. *Guayaquil: Escuela Superior Politécnica Del Litoral*.
- Arambarri, G., & Aglietti, E. F. (2000). MATERIALES AISLANTES DE PERLITA Y SILICATO DE CALCIO. CONDUCTIVIDAD TERMICA Y PROPIEDADES. CETMIC (Centro de Tecnología de Recursos Minerales y Cerámica).
- Aravena Calisto, B. (2010). *mortero para estuco con agregado de aserrín, para el mejoramiento térmico de las viviendas de albañilería de ladrillos*. (Tesis para optar al título de ingeniero constructor con el grado de licenciado en ciencias de la construcción), Universidad de Valparaíso,
- Bravo, J. (2014). Almendras, con espacio para crecer. In.
- Chapple, P. (2008). *Confort térmico en las viviendas*. Revista Bit Retrieved from <http://biblioteca.cchc.cl/datafiles/21264.pdf>.
- Chile, U. d. (2007). CADENA DE LA ALMENDRA Y SU RELACIÓN CON LA INNOVACIÓN. Retrieved from http://www.inapiproyecta.cl/605/articulos-1672_recurso_1.pdf
- Consuegra, L. L., Rodríguez, A. V., & Torres, C. M. (2012). ESTUDIO DEL SURGIMIENTO Y DESARROLLO DE LOS MORTEROS EN LA CONSTRUCCIÓN. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos, Cuba.
- Criado Aldeanueva, F., Aguiar, J., & Gómez Merino, A. (2011). Fundamentos de transferencia de calor. In *Ampliación de Física en la Ingeniería, Universidad de Málaga*.
- de la Construcción, C. C. (2011). Balance de la vivienda en Chile. *Santiago*.
- Duffau, A. A. (2010). Construcción industrializada para la vivienda social en Chile: análisis de su impacto potencial. *Ciclo de Seminarios Académicos de Economía*.
- Fuenzalida, A. H., & Reyes, M. A. (2007). ALBAÑILERÍA EN CHILE.
- Gatani, M., & Argüello, R. (2007). NUEVOS MATERIALES DE CONSTRUCCION SUSTENTABLE CON CASCARAS DE MANI. ENSAYOS DE COMPORTAMIENTO MECANICO CON VARIACION DE LA GRAN ULOMETRIA DEL AGREGADO. In: Retrieved.
- Gordillo, J. F. (2005). Morteros como elementos de estudio en arqueología-arqueometría medieval. *Arqueometría y arqueología medieval. Granada: Departamento de Mineralogía y Petrología y Centro de Instrumentación Científica, Universidad de Granada*, 171-192.
- Gómez Páez, J., & Montero Ramírez, L. (2013). Diseño de pie protésico de reacción dinámica elaborado con materiales compuestos.
- Gómez, W. B., Bobadilla, A., Francisco, B. N., Saelzer, G., & Arcos, S. V. (2005). Uso eficiente de la energía en edificios habitacionales. Mejoramiento térmico de muros de albañilería de ladrillos cerámicos. El caso de Chile. *Revista de la Construcción*, 4(2), 5-12 %@ 0717-7925.
- Hatt, T., Saelzer, G., Hempel, R., & Gerber, A. (2012). Alto confort interior con mínimo consumo energético a partir de la implementación del estándar " Passivhaus" en Chile. *Revista de la Construcción*, 11(2), 123-134 %@ 0718-0915X.

- Hidalgo, R. (1999). La vivienda social en Chile: la acción del Estado en un siglo de planes y programas. *Scripta Nova*, 45(1).
- Jiménez, N. A., & Moreno, A. B. (2017). Evaluación experimental y análisis de la mejora con aislamiento para el caso del puente térmico en el frente de forjado. *Informes de la Construcción*, 69(546), 188-198.
- Jiménez, R., Robles, M. J., Lao, M. T., & Jiménez, S. (2000). Caracterización de sustratos con cáscara de almendra para uso en cultivos ornamentales. *Acta Hort*, 32, 333-341.
- Martínez García, Á. (2017). Confort Térmico. Retrieved from www.ispch.cl/sites/default/files/NotaTecnica47-21032017A.pdf
- Martínez Gutiérrez, G. A., Ortiz Hernández, Y. D., Urrestarazu Gavilán, M., Salas San Juan, M. d. C., Escamirosa Tinoco, C. U. h. w. s. o. m. s. p. s. a., pid=S, & nrm=iso. (2009). La rotación de cultivos y las propiedades de la cáscara de almendra como sustrato. *Revista fitotecnia mexicana*, 32, 135-142.
- Martínez, P., Sarmiento, P., & Urquieta, W. (2005). Evaluación de la humedad por condensación dentro de viviendas sociales. *Revista INVI*, 20(55), 0718-8358.
- MINVU. (2006). *Manual de Aplicación reglamentación térmica MINVU ordenanza general de urbanismo y construcciones Artículo 4.1.10*. Retrieved from http://www.minvu.cl/opensite_20070417155724.aspx.
- MINVU. (2014). *Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Acústico*. Retrieved from http://www.minvu.cl/opensite_20070611111640.aspx.
- MINVU. (2015). *Cuenta Pública*. Retrieved from http://www.gob.cl/cuenta-publica/2015/sectorial/2015_sectorial_ministerio-vivienda-y-urbanismo.pdf.
- Odepa. (2014). *Almendras, con espacio para crecer*. Retrieved from http://www.odepa.cl/wp-content/files_mf/1405616543Almendras201407.pdf.
- Pazmiño Guzmán, E. M. (2014). Artículo Científico-Rediseño e implementación de la máquina bloquera variando la estructura del molde para reciclar el material de desecho en la Empresa PANECONS.
- Roa Moreno, C. (2016). *Evaluación de las propiedades térmicas e ignífugas del mortero de cemento para estuco, modificado con Cáscara de Nuez*. (Tesis para optar al grado de licenciado en ciencias de la construcción y al título de ingeniero constructor), Universidad de Valparaíso,
- Rodríguez-Mora, O. (2003). *Morteros: guía general: AFAM-Asoc_Fabr_Mortero*.
- Rosi. (2007). *Mortero de construcción y ornamentación*. Universidad de Granada.
- Sancho, A. (2016). cáscara de almendra como alternativa al pellet. Retrieved from <http://bioenergyinternational.es/cascara-de-almendra-como-alternativa-al-pellet/>
- Serret-Guasch, N., Giralt-Ortega, G., & Quintero-Ríos, M. (2016). Caracterización de aserrín de diferentes maderas. *Tecnología Química*, 36(3), 395-405.
- Valdez Guzmán, L. F., Proaño Cadena, G., & Suárez Alcívar, G. E. (2010). Hormigones livianos.
- Verdugo, G. (2014) *Sólo el 5% de las viviendas de la Región cumple la norma de aislación térmica/Interviewer: N. Zapata*. Diario Mayor.

Anexos

1. Granulometría arena

Tabla 1: Granulometría arena muestra 1.

MUESTRA 1								
TAMIZ		PESO RETENIDO	% RETENIDO		%	%	% BANDA GRANULOMETRICA NCH163OF2013	
ASTM	TAMIZ (mm) - NCH163 OF 2013	gramos	PARCIAL	ACUMULADO	QUE PASA	QUE PASA CORREGIDO		
3/8	9,5	5	0	0	100		100	100
4	4,75	267	18	18	82	100	95	100
8	2,36	240	16	35	65	80	80	100
16	1,18	142	10	44	56	68	50	85
30	0,6	97	7	51	49	60	25	60
50	0,3	191	13	63	37	45	5	30
100	0,15	485	33	96	4	5	0	10
BAJO 100		57	4	100	0			
MASA REAL		1482						
MASA INICIAL		1487						
ERROR		0,32%						

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Módulo de finura: 2,41.

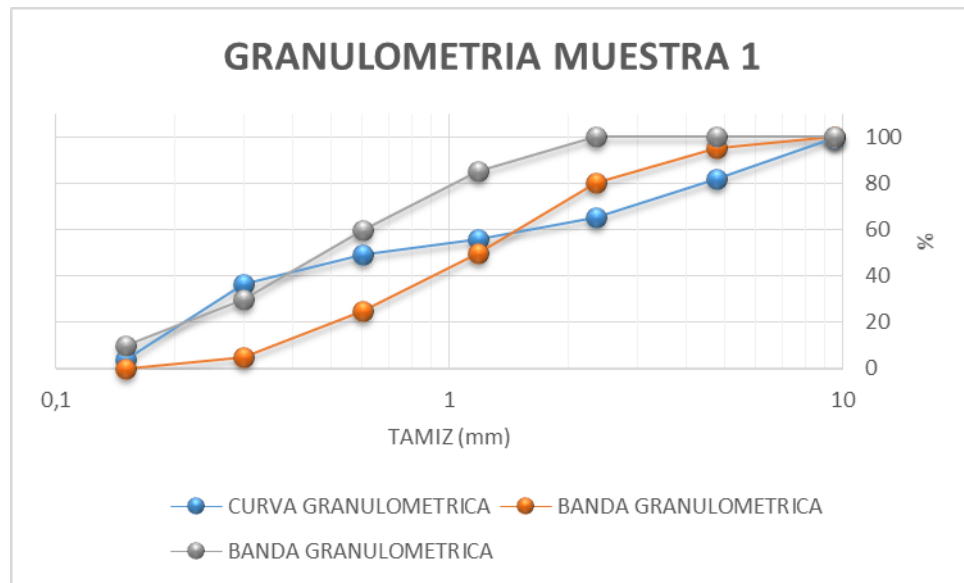


Gráfico 1: Granulometría arena muestra 1.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla 2: Granulometría arena muestra 2.

MUESTRA 2								
TAMIZ		PESO RETENIDO	% RETENIDO		%	%	% BANDA GRANULOMETRICA NCH163 OF 2013	
ASTM	TAMIZ (mm) - NCH163 OF 2013	gramos	PARCIAL	ACUMULADO	QUE PASA	QUE PASA CORREGIDO		
3/8	9,5	3	0	0	100		100	100
4	4,75	221	16	16	84	100	95	100
8	2,36	228	16	32	68	81	80	100
16	1,18	146	10	43	57	68	50	85
30	0,6	95	7	49	51	60	25	60
50	0,3	225	16	65	35	41	5	30
100	0,15	436	31	97	3	4	0	10
BAJO 100		49	3	100	0			
MASA REAL		1403						
MASA INICIAL		1404						
ERROR		0,11%						

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Módulo de finura: 2,46.

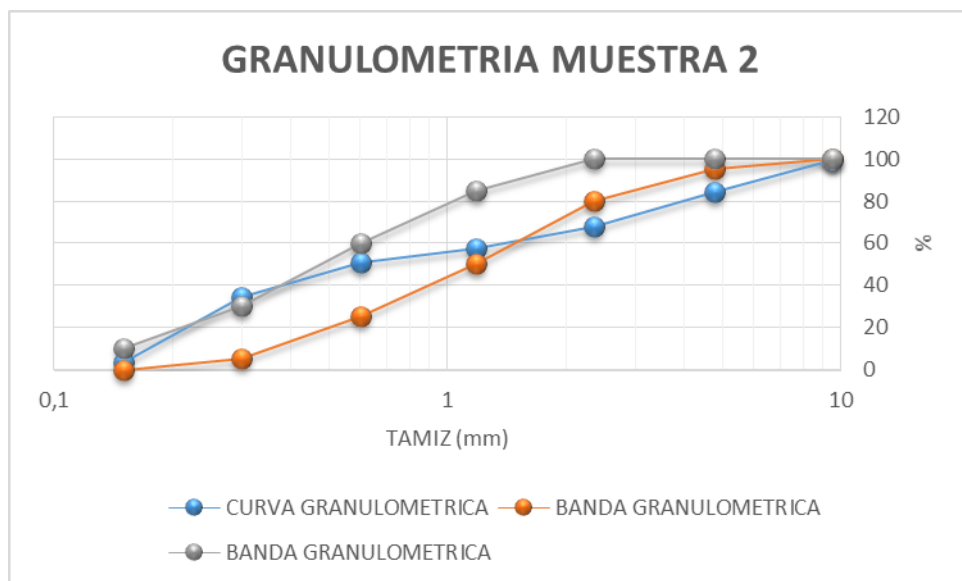


Gráfico 2: Granulometría arena muestra 2.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla 3: Granulometría arena muestra 3.

MUESTRA 3								
TAMIZ		PESO RETENIDO	% RETENIDO		%	%	%	
ASTM	TAMIZ (mm) - NCH163 OF 2013		PARCIAL	ACUMULADO			QUE PASA	QUE PASA CORREGIDO
3/8	9,5	4	0	0	100		100	100
4	4,75	244	17	17	83	100	95	100
8	2,36	234	16	33	67	80	80	100
16	1,18	142	10	43	57	69	50	85
30	0,6	96	7	50	50	60	25	60
50	0,3	211	15	64	36	43	5	30
100	0,15	460	32	96	4	4	0	10
BAJO 100		53	4	100	0			
MASA REAL		1444						
MASA INICIAL		1446						
ERROR		0,12%						

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Módulo de finura: 2,43.

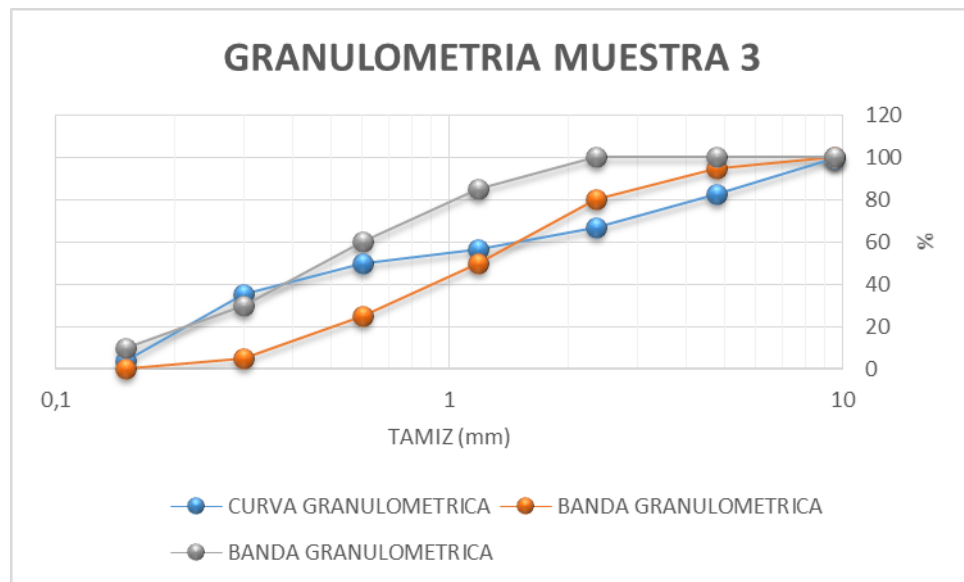


Gráfico 3: Granulometría arena muestra 3.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

2. Granulometría Cáscara de almendras (materia prima)

Tabla 4: Granulometría Cáscara muestra 1.

MUESTRA 1								
TAMIZ		PESO RETENIDO	% RETENIDO		%	%	% BANDA GRANULOMETRICA NCH163OF2013	
ASTM	TAMIZ (mm) - NCH163 OF 2013	gramos	PARCIAL	ACUMULADO	QUE PASA	QUE PASA CORREGIDO		
3/8	9,5	69	18	18	82		100	100
4	4,75	146	38	55	45	100	95	100
8	2,36	104	27	82	18	40	80	100
16	1,18	34	9	91	9	20	50	85
30	0,6	19	5	96	4	9	25	60
50	0,3	10	3	99	1	3	5	30
100	0,15	4	1	100	0	1	0	10
BAJO 100		2	0	100	0			
MASA REAL		388						
MASA INICIAL		391						
ERROR		0,89%						

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Módulo de finura: 4,27.

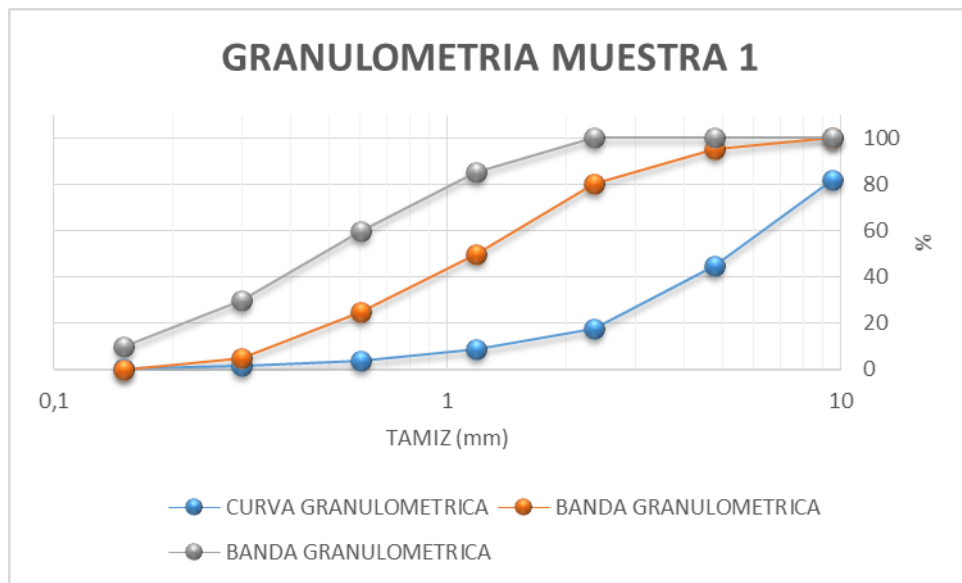


Gráfico 4: Granulometría cáscara muestra 1.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla 5: Granulometría Cáscara muestra 2.

MUESTRA 2								
TAMIZ		PESO RETENIDO	% RETENIDO		%	%	% BANDA GRANULOMETRICA NCH163OF2013	
ASTM	TAMIZ (mm) - NCH163 OF 2013	gramos	PARCIAL	ACUMULADO	QUE PASA	QUE PASA CORREGIDO		
3/8	9,5	72	18	18	82		100	100
4	4,75	144	37	55	45	100	95	100
8	2,36	103	26	81	19	41	80	100
16	1,18	35	9	90	10	21	50	85
30	0,6	20	5	96	4	10	25	60
50	0,3	10	3	98	2	4	5	30
100	0,15	5	1	99	1	1	0	10
BAJO 100		2	1	100	0			
MASA REAL		391						
MASA INICIAL		394						
ERROR		0,81%						

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Módulo de finura: 4,23.

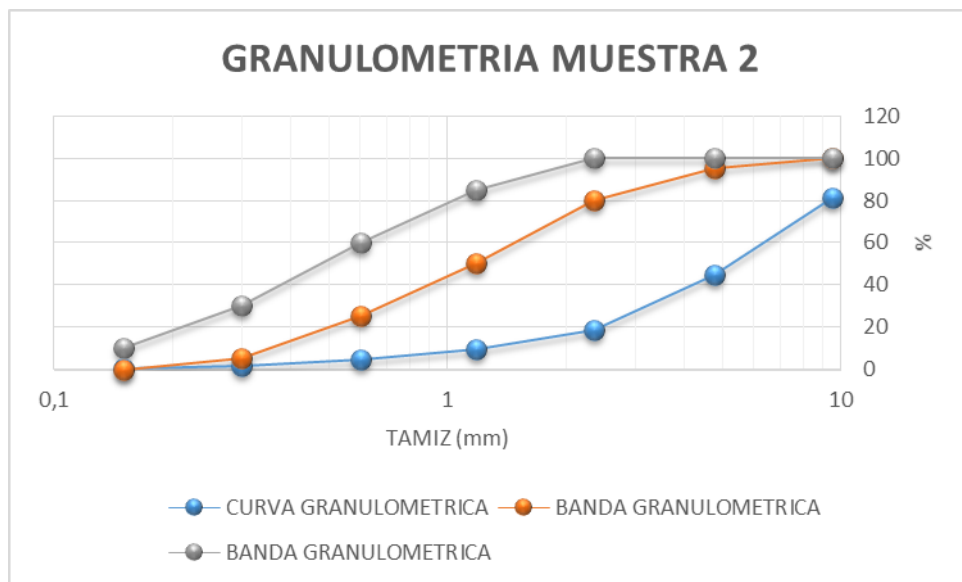


Gráfico 5: Granulometría Cáscara muestra 2.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla 6: Granulometría Cáscara muestra 3.

MUESTRA 3								
TAMIZ		PESO RETENIDO	% RETENIDO		%	%	%	
ASTM	TAMIZ (mm) - NCH163 OF 2013	gramos	PARCIAL	ACUMULADO	QUE PASA	QUE PASA CORREGIDO	BANDA GRANULOMETRICA NCH163OF2013	
3/8	9,5	69	18	18	82		100	100
4	4,75	145	38	56	44	100	95	100
8	2,36	104	27	82	18	39	80	100
16	1,18	34	9	91	9	20	50	85
30	0,6	19	5	96	4	9	25	60
50	0,3	10	3	99	1	3	5	30
100	0,15	4	1	100	0	1	0	10
BAJO 100		2	0	100	0			
MASA REAL		385						
MASA INICIAL		386						
ERROR		0,31%						

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Módulo de finura: 4,29.

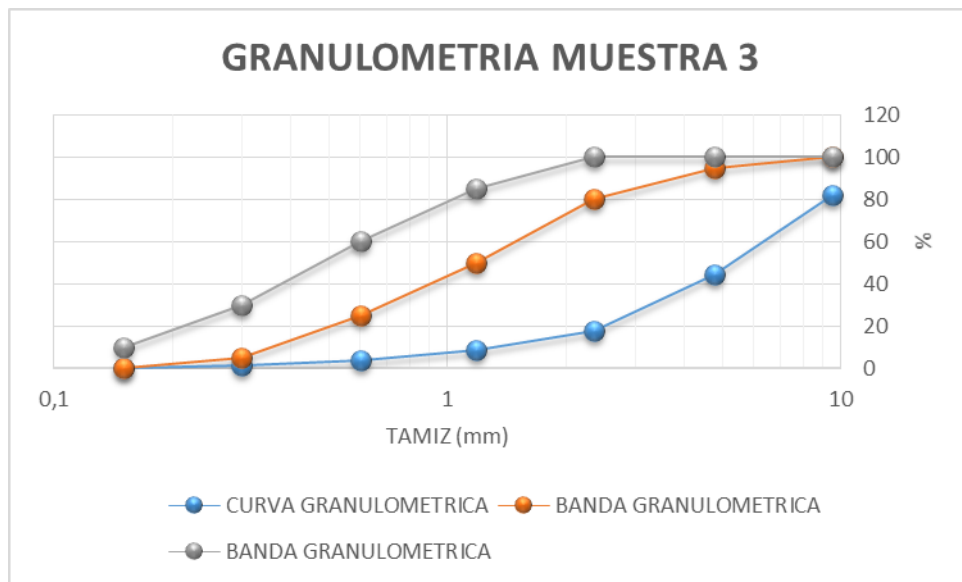


Gráfico 6: Granulometría Cáscara muestra 3.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

3. Granulometría Cáscara de almendras molida

Tabla 7: Granulometría Cáscara molida muestra 1.

MUESTRA 1								
TAMIZ		PESO RETENIDO	% RETENIDO		%	%	%	
ASTM	TAMIZ (mm) - NCH163 OF 2013	gramos	PARCIAL	ACUMULADO	QUE PASA	QUE PASA CORREGIDO	BANDA GRANULOMETRICA NCH163OF2013	
3/8	9,5	1	1	1	99		100	100
4	4,75	20	15	16	84	100	95	100
8	2,36	53	40	55	45	53	80	100
16	1,18	28	21	77	23	28	50	85
30	0,6	11	8	85	15	18	25	60
50	0,3	10	8	92	8	9	5	30
100	0,15	9	6	99	1	2	0	10
BAJO 100		2	1	100	0			
MASA REAL		134						
MASA INICIAL		138						
ERROR		2,47%						

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Módulo de finura: 3,90.

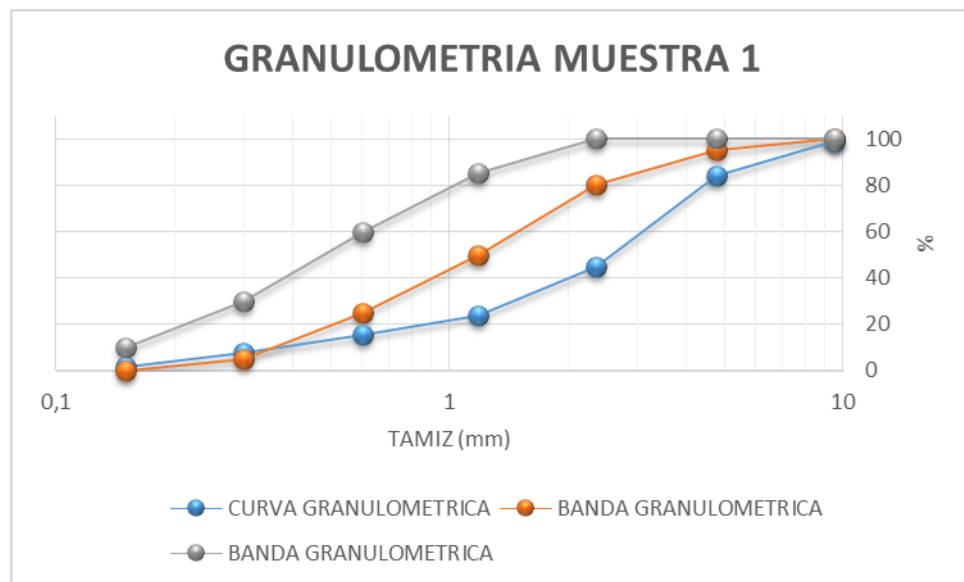


Gráfico 7: Granulometría Cáscara molida muestra 1.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla 8: Granulometría Cáscara molida muestra 2.

MUESTRA 2								
TAMIZ		PESO RETENIDO	% RETENIDO		%	%	%	
ASTM	TAMIZ (mm) - NCH163 OF 2013	gramos	PARCIAL	ACUMULADO	QUE PASA	QUE PASA CORREGIDO	BANDA GRANULOMETRICA NCH163OF2013	
3/8	9,5	2	2	2	98		100	100
4	4,75	21	15	17	83	100	95	100
8	2,36	54	39	56	44	53	80	100
16	1,18	28	21	77	23	28	50	85
30	0,6	11	8	84	16	19	25	60
50	0,3	11	8	93	7	9	5	30
100	0,15	8	6	98	2	2	0	10
BAJO 100		2	2	100	0			
MASA REAL		138						
MASA INICIAL		140						
ERROR		1,43%						

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Módulo de finura: 3,90.

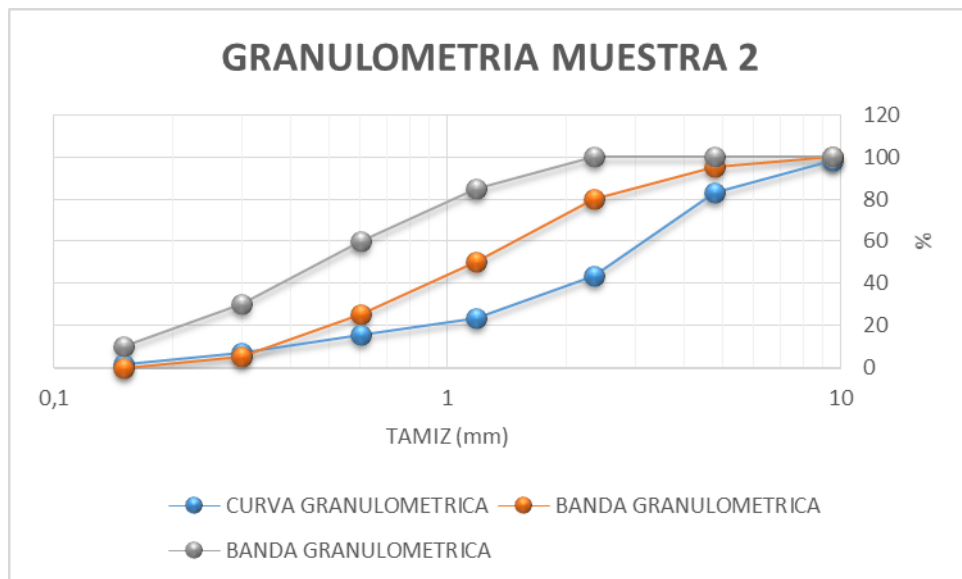


Gráfico 8: Granulometría Cáscara molida muestra 2.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla 9: Granulometría Cáscara molida muestra 3.

MUESTRA 3								
TAMIZ		PESO RETENIDO	% RETENIDO		%	%	%	
ASTM	TAMIZ (mm) - NCH163 OF 2013	gramos	PARCIAL	ACUMULADO	QUE PASA	QUE PASA CORREGIDO	BANDA GRANULOMETRICA NCH163OF2013	
3/8	9,5	2	1	1	99		100	100
4	4,75	21	15	16	84	100	95	100
8	2,36	54	39	55	45	54	80	100
16	1,18	29	21	76	24	28	50	85
30	0,6	11	8	84	16	19	25	60
50	0,3	11	8	92	8	10	5	30
100	0,15	9	7	99	1	2	0	10
BAJO 100		2	1	100	0			
MASA REAL		138						
MASA INICIAL		140						
ERROR		1,64%						

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Módulo de finura: 4,14.

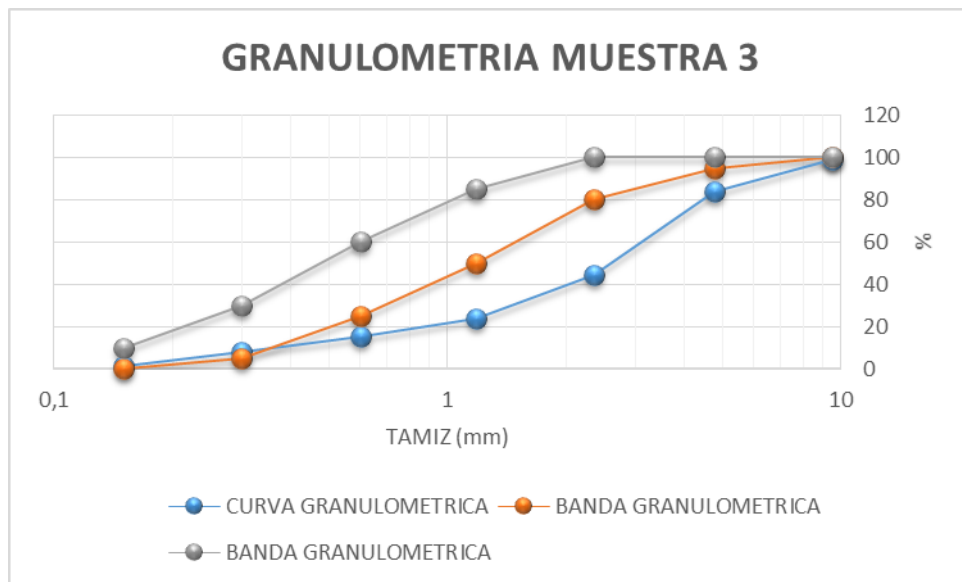


Gráfico 9: Granulometría Cáscara molida muestra 3.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

4. Tabla de temperaturas muro sin estucar

Tabla 10: Datos de temperatura.

Minutos	Cámara A		Cámara B	
	T° A1	T° A2	T° B1	T° B2
0	18,05	18,07	17,9	17,77
2	18,52	18,67	17,88	17,74
4	18,97	19,29	17,85	17,72
6	19,39	19,86	17,84	17,7
8	19,78	20,35	17,83	17,7
10	20,13	20,77	17,83	17,69
12	20,45	21,13	17,82	17,69
14	20,76	21,47	17,82	17,69
16	21,07	21,8	17,82	17,69
18	21,38	22,11	17,81	17,69
20	21,67	22,41	17,82	17,69
22	21,94	22,68	17,82	17,69
24	22,21	22,96	17,82	17,69
26	22,49	23,24	17,82	17,69
28	22,75	23,52	17,82	17,69
30	23,02	23,79	17,82	17,7
32	23,27	24,06	17,82	17,7
34	23,51	24,3	17,82	17,7
36	23,75	24,54	17,83	17,71
38	23,98	24,79	17,83	17,71
40	24,21	25,01	17,83	17,71
42	24,43	25,25	17,84	17,72
44	24,66	25,48	17,84	17,73
46	24,86	25,68	17,85	17,73
48	25,05	25,88	17,86	17,74
50	25,25	26,09	17,86	17,75
52	25,46	26,31	17,88	17,76
54	25,67	26,53	17,89	17,77
56	25,87	26,73	17,89	17,78
58	26,05	26,92	17,91	17,79
60	26,23	27,11	17,92	17,8
62	26,42	27,32	17,93	17,81
64	26,6	27,51	17,94	17,83
66	26,79	27,71	17,95	17,84

68	26,96	27,91	17,97	17,86
70	27,12	28,08	17,99	17,88
72	27,27	28,25	18	17,9
74	27,43	28,43	18,02	17,91
76	27,58	28,61	18,04	17,94
78	27,72	28,77	18,06	17,96
80	27,87	28,93	18,08	17,98
82	28,02	29,09	18,1	18
84	28,17	29,25	18,12	18,03
86	28,34	29,44	18,14	18,05
88	28,51	29,62	18,16	18,08
90	28,68	29,8	18,19	18,1
92	28,83	29,98	18,21	18,13
94	28,99	30,14	18,24	18,15
96	29,13	30,29	18,27	18,19
98	29,29	30,45	18,29	18,21
100	29,44	30,62	18,32	18,24
102	29,58	30,79	18,35	18,27
104	29,74	30,95	18,37	18,3
106	29,88	31,1	18,41	18,33
108	30,02	31,24	18,44	18,36
110	30,16	31,4	18,47	18,4
112	30,3	31,54	18,5	18,43
114	30,45	31,7	18,53	18,46
116	30,6	31,86	18,56	18,5
118	30,74	32,01	18,59	18,54
120	30,87	32,15	18,62	18,57
122	31,01	32,3	18,65	18,6
124	31,16	32,45	18,69	18,63
126	31,31	32,6	18,72	18,67
128	31,45	32,76	18,76	18,71
130	31,58	32,89	18,8	18,75
132	31,71	33,02	18,83	18,79
134	31,85	33,17	18,87	18,83
136	31,98	33,31	18,91	18,87
138	32,12	33,45	18,95	18,91
140	32,24	33,57	18,98	18,95
142	32,36	33,7	19,02	18,99
144	32,48	33,81	19,06	19,03

146	32,58	33,93	19,1	19,08
148	32,7	34,06	19,14	19,12
150	32,82	34,18	19,18	19,16
152	32,9	34,25	19,22	19,21
154	32,99	34,34	19,26	19,25
156	33,08	34,42	19,3	19,29
158	33,19	34,53	19,34	19,34
160	33,3	34,65	19,39	19,38
162	33,41	34,76	19,43	19,43
164	33,51	34,87	19,47	19,46
166	33,62	34,98	19,51	19,51
168	33,71	35,07	19,55	19,56
170	33,80	35,16	19,60	19,60
172	33,90	35,26	19,65	19,65
174	34,00	35,35	19,69	19,70
176	34,08	35,44	19,73	19,74
178	34,18	35,55	19,77	19,79
180	34,26	35,61	19,82	19,84
182	34,36	35,72	19,86	19,89
184	34,46	35,81	19,91	19,93
186	34,55	35,91	19,95	19,98
188	34,64	36,00	19,99	20,03
190	34,74	36,09	20,04	20,07
192	34,83	36,19	20,08	20,12
194	34,93	36,28	20,13	20,17
196	35,02	36,37	20,17	20,21
198	35,11	36,47	20,21	20,26
200	35,21	36,56	20,26	20,31
202	35,30	36,65	20,30	20,36
204	35,39	36,75	20,34	20,40
206	35,49	36,84	20,39	20,45
208	35,58	36,93	20,43	20,50
210	35,68	37,03	20,48	20,54
212	35,77	37,12	20,52	20,59
214	35,86	37,21	20,56	20,64
216	35,96	37,31	20,61	20,68
218	36,05	37,40	20,65	20,73
220	36,14	37,49	20,70	20,78
222	36,24	37,59	20,74	20,83

224	36,33	37,68	20,78	20,87
226	36,42	37,77	20,83	20,92
228	36,52	37,87	20,87	20,97
230	36,61	37,96	20,91	21,01
232	36,71	38,05	20,96	21,06
234	36,80	38,15	21,00	21,11
236	36,89	38,24	21,05	21,15
238	36,99	38,33	21,09	21,20
240	37,08	38,43	21,13	21,25

Fuente: Elaboración propia, 2017.

5. Tabla de temperaturas muro con estuco patrón

Tabla 11: Datos de temperaturas.

Minutos	Cámara A		Cámara B	
	T° A1	T° A2	T° B1	T° B2
0	18,84	18,98	18,39	18,03
2	19,32	19,53	18,36	18,03
4	19,76	19,98	18,34	18,02
6	20,12	20,32	18,32	18
8	20,41	20,62	18,3	17,99
10	20,68	20,9	18,29	17,98
12	20,94	21,18	18,27	17,97
14	21,2	21,44	18,25	17,95
16	21,44	21,68	18,23	17,95
18	21,64	21,88	18,22	17,93
20	21,83	22,08	18,2	17,92
22	22,03	22,28	18,19	17,92
24	22,24	22,51	18,17	17,91
26	22,46	22,73	18,16	17,9
28	22,66	22,93	18,15	17,89
30	22,84	23,12	18,14	17,87
32	23,02	23,3	18,12	17,87
34	23,19	23,46	18,12	17,85
36	23,36	23,64	18,11	17,85
38	23,53	23,82	18,1	17,85
40	23,72	24,01	18,1	17,85
42	23,9	24,2	18,1	17,85
44	24,1	24,4	18,07	17,82

46	24,28	24,58	18,07	17,83
48	24,42	24,72	18,06	17,83
50	24,57	24,87	18,06	17,83
52	24,72	25,01	18,05	17,81
54	24,85	25,14	18,05	17,83
56	25,01	25,32	18,05	17,82
58	25,2	25,52	18,04	17,8
60	25,39	25,71	18,04	17,79
62	25,56	25,88	18,04	17,83
64	25,75	26,07	18,04	17,82
66	25,9	26,22	18,02	17,81
68	26,03	26,35	18,02	17,81
70	26,18	26,49	18,02	17,82
72	26,33	26,65	18,04	17,85
74	26,51	26,84	18,03	17,82
76	26,69	27,04	18,03	17,82
78	26,88	27,22	18,04	17,82
80	27,04	27,37	18,02	17,79
82	27,18	27,51	18,04	17,84
84	27,31	27,65	18,05	17,85
86	27,45	27,79	18,04	17,84
88	27,62	27,96	18,05	17,86
90	27,79	28,14	18,07	17,87
92	27,95	28,28	18,08	17,88
94	28,08	28,42	18,08	17,88
96	28,2	28,54	18,09	17,88
98	28,34	28,67	18,1	17,88
100	28,47	28,81	18,11	17,88
102	28,63	28,97	18,12	17,89
104	28,8	29,15	18,13	17,9
106	28,95	29,3	18,13	17,92
108	29,11	29,46	18,14	17,92
110	29,24	29,58	18,15	17,93
112	29,36	29,69	18,16	17,93
114	29,49	29,83	18,17	17,94
116	29,64	29,99	18,18	17,96
118	29,81	30,16	18,2	17,97
120	29,95	30,29	18,21	17,97
122	30,1	30,45	18,22	17,98

124	30,24	30,57	18,23	17,99
126	30,36	30,69	18,24	18,01
128	30,47	30,8	18,26	18,02
130	30,61	30,95	18,27	18,03
132	30,76	31,1	18,29	18,04
134	30,91	31,24	18,3	18,06
136	31,05	31,38	18,32	18,07
138	31,16	31,5	18,33	18,09
140	31,26	31,59	18,35	18,1
142	31,37	31,69	18,37	18,12
144	31,49	31,82	18,39	18,13
146	31,62	31,95	18,41	18,15
148	31,75	32,09	18,43	18,17
150	31,89	32,23	18,45	18,19
152	32,02	32,34	18,47	18,21
154	32,12	32,43	18,49	18,22
156	32,22	32,54	18,51	18,24
158	32,33	32,65	18,53	18,26
160	32,45	32,76	18,56	18,28
162	32,55	32,87	18,58	18,3
164	32,67	32,99	18,6	18,32
166	32,8	33,13	18,62	18,34
168	32,92	33,23	18,64	18,36
170	33,02	33,34	18,67	18,38
172	33,13	33,44	18,69	18,4
174	33,25	33,56	18,71	18,42
176	33,37	33,7	18,74	18,45
178	33,51	33,84	18,77	18,47
180	33,65	33,98	18,79	18,49
182	33,75	34,06	18,82	18,51
184	33,84	34,15	18,85	18,54
186	33,93	34,23	18,88	18,56
188	34,04	34,33	18,9	18,58
190	34,14	34,44	18,93	18,61
192	34,26	34,57	18,96	18,63
194	34,38	34,69	18,99	18,65
196	34,47	34,76	19,01	18,68
198	34,54	34,84	19,04	18,7
200	34,62	34,92	19,07	18,73

202	34,7	34,99	19,11	18,76
204	34,8	35,1	19,14	18,78
206	34,92	35,23	19,17	18,81
208	35,04	35,34	19,2	18,83
210	35,15	35,46	19,23	18,86
212	35,27	35,57	19,26	18,89
214	35,35	35,64	19,29	18,91
216	35,43	35,71	19,32	18,94
218	35,49	35,77	19,36	18,97
220	35,57	35,85	19,39	19
222	35,68	35,97	19,42	19,03
224	35,79	36,08	19,45	19,05
226	35,89	36,19	19,49	19,08
228	36	36,29	19,52	19,11
230	36,09	36,37	19,56	19,14
232	36,15	36,42	19,59	19,17
234	36,2	36,48	19,62	19,2
236	36,28	36,56	19,66	19,23
238	36,4	36,69	19,69	19,26
240	36,52	36,81	19,73	19,29

Fuente: Elaboración propia, 2017.

6. Tabla de temperaturas muro con estuco modificado con 50% de cáscara de almendras

Tabla 12: Datos de temperatura.

Minutos	Cámara A		Cámara B	
	T° A1	T° A2	T° B1	T° B2
0	22,36	22,27	19,9	19,44
2	23,1	23,6	19,72	19,35
4	23,9	24,69	19,61	19,27
6	24,6	25,46	19,53	19,22
8	25,19	26,1	19,46	19,19
10	25,68	26,63	19,42	19,16
12	26,15	27,15	19,38	19,13
14	26,58	27,61	19,34	19,12
16	26,94	27,99	19,31	19,1
18	27,29	28,34	19,29	19,08
20	27,57	28,6	19,26	19,07

22	27,84	28,88	19,24	19,06
24	28,1	29,18	19,23	19,05
26	28,4	29,51	19,21	19,04
28	28,72	29,86	19,2	19,03
30	29,01	30,17	19,19	19,03
32	29,29	30,48	19,18	19,02
34	29,54	30,72	19,17	19,01
36	29,76	30,94	19,16	19,01
38	29,97	31,14	19,15	19
40	30,18	31,38	19,15	19
42	30,44	31,69	19,15	18,99
44	30,7	31,98	19,15	18,99
46	30,96	32,26	19,14	18,99
48	31,2	32,51	19,14	18,98
50	31,4	32,7	19,14	18,98
52	31,58	32,88	19,14	18,98
54	31,78	33,1	19,14	18,98
56	32	33,34	19,14	18,98
58	32,22	33,58	19,15	18,99
60	32,43	33,8	19,15	18,99
62	32,62	33,99	19,16	18,99
64	32,76	34,12	19,17	19
66	32,93	34,29	19,18	19
68	33,1	34,51	19,19	19,01
70	33,32	34,73	19,2	19,02
72	33,53	34,95	19,21	19,03
74	33,73	35,18	19,22	19,04
76	33,93	35,37	19,24	19,05
78	34,05	35,45	19,25	19,06
80	34,17	35,57	19,27	19,07
82	34,31	35,73	19,28	19,08
84	34,51	35,97	19,3	19,1
86	34,71	36,16	19,32	19,11
88	34,89	36,36	19,34	19,13
90	35,07	36,53	19,36	19,14
92	35,2	36,65	19,38	19,16
94	35,34	36,8	19,4	19,18
96	35,5	36,96	19,43	19,2
98	35,68	37,13	19,45	19,22

100	35,86	37,27	19,47	19,24
102	36,04	37,46	19,5	19,26
104	36,2	37,62	19,53	19,28
106	36,34	37,75	19,56	19,31
108	36,47	37,88	19,59	19,34
110	36,6	38,02	19,62	19,37
112	36,77	38,23	19,65	19,4
114	36,96	38,43	19,68	19,43
116	37,13	38,6	19,71	19,46
118	37,29	38,76	19,74	19,48
120	37,44	38,89	19,77	19,5
122	37,55	38,99	19,8	19,52
124	37,67	39,12	19,84	19,54
126	37,81	39,27	19,87	19,57
128	37,99	39,47	19,9	19,59
130	38,16	39,64	19,94	19,62
132	38,32	39,79	19,97	19,64
134	38,48	39,93	20,01	19,67
136	38,56	39,97	20,04	19,7
138	38,66	40,05	20,07	19,73
140	38,73	40,1	20,11	19,77
142	38,85	40,26	20,14	19,81
144	38,99	40,42	20,18	19,85
146	39,15	40,56	20,22	19,89
148	39,28	40,7	20,25	19,93
150	39,41	40,85	20,29	19,98
152	39,51	40,91	20,32	20,05
154	39,6	40,98	20,36	20,11
156	39,69	41,09	20,41	20,17
158	39,81	41,22	20,46	20,22
160	39,92	41,33	20,51	20,26
162	40,05	41,44	20,56	20,3
164	40,18	41,58	20,62	20,34
166	40,25	41,62	20,68	20,38
168	40,33	41,68	20,73	20,41
170	40,40	41,75	20,79	20,44
172	40,53	41,91	20,84	20,48
174	40,68	42,06	20,89	20,52
176	40,80	42,19	20,94	20,56

178	40,92	42,31	20,99	20,60
180	40,99	42,34	21,04	20,63
182	41,13	42,50	21,09	20,67
184	41,25	42,62	21,15	20,71
186	41,37	42,73	21,20	20,74
188	41,49	42,85	21,25	20,78
190	41,60	42,96	21,30	20,82
192	41,72	43,08	21,35	20,85
194	41,84	43,19	21,40	20,89
196	41,96	43,31	21,45	20,93
198	42,07	43,42	21,51	20,96
200	42,19	43,54	21,56	21,00
202	42,31	43,65	21,61	21,04
204	42,43	43,77	21,66	21,07
206	42,54	43,88	21,71	21,11
208	42,66	44,00	21,76	21,15
210	42,78	44,11	21,81	21,19
212	42,90	44,23	21,87	21,22
214	43,01	44,34	21,92	21,26
216	43,13	44,46	21,97	21,30
218	43,25	44,57	22,02	21,33
220	43,37	44,69	22,07	21,37
222	43,48	44,80	22,12	21,41
224	43,60	44,92	22,17	21,44
226	43,72	45,03	22,23	21,48
228	43,84	45,15	22,28	21,52
230	43,95	45,26	22,33	21,55
232	44,07	45,38	22,38	21,59
234	44,19	45,49	22,43	21,63
236	44,31	45,61	22,48	21,67
238	44,42	45,72	22,53	21,70
240	44,54	45,84	22,59	21,74

Fuente: Elaboración propia, 2017.