



Facultad de Ingeniería

Escuela de Construcción Civil

**“Evaluación técnica y análisis de costos de muros
de albañilería confinada sin tendel construidos
con ladrillo cerámico, modificado con un rebaje”**

Por

Diego Antonio Frez Huerta

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

Prof. Guía: Nelson Ricardo Valdés Moya

Marzo de 2018

Agradecimientos

Quiero comenzar agradeciendo a Dios por todo lo que me dio y dedicar esta investigación a mi familia, a mi mamá por su apoyo y motivación diaria y sobre todo en los momentos de mayor cansancio, a mi papá por la paciencia y por la ayuda para realizar los ensayos, sin esa ayuda, esta tesis no se hubiese realizado, agradecer a mi abuelo por su tiempo y por facilitarme las herramientas para modificar los ladrillos, y también agradecer a mi hermano por ser un gran ejemplo para estudiar y desarrollarse como profesional.

También quiero dedicar esta investigación a todos mis amigos y compañeros, comenzando por Claudio Díaz y Sebastián Venegas que me ayudaron a confeccionar las probetas. Agradecer a Paula Urzúa y Cristófer Labbe por ayudarme a escribir mi tesis y a guiarme en todo el proceso de investigación.

También agradecer la ayuda y la disposición de los profesores y laboratoristas, agradecer a don Enrique y a don Juan por la gentileza en los laboratorios, y agradecer al profesor Andrés Jamet y al profesor Jorge Rivera por su orientación y por la disponibilidad para responder mis dudas.

Agradecer también a Emperatriz y Fabiola quienes siempre estuvieron dispuestas a escuchar y ayudar durante todos los años de estudio desde primer año hasta el término de mi tesis.

Y terminar agradeciendo a mi profesor guía Nelson Valdés quien me guió cada vez que lo requería, me orientó de manera clara en cada una de las etapas de la investigación y que de igual manera creyó en mi propuesta de investigación.

Índice

ÍNDICE.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1 INTRODUCCIÓN.....	11
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.3 OBJETIVOS.....	14
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	14
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	14
1.4 ALCANCES	15
1.5 METODOLOGÍA	16
1.5.1 <i>Modificación de los ladrillos</i>	16
1.5.2 <i>Grado de los ladrillos modificados</i>	16
1.5.3 <i>Resistencia mecánica de los muros</i>	17
1.5.4 <i>Permeabilidad de los muros con ladrillos modificados</i>	17
1.6 DIAGRAMA DE FLUJO.....	18
2. ANTECEDENTES GENERALES DE ALBAÑILERÍA	19
2.1 DEFINICIÓN ALBAÑILERÍA DE LADRILLOS.....	19
2.2 DEFINICIÓN DE LOS MATERIALES DE ALBAÑILERÍA DE LADRILLOS.....	19
2.2.1 <i>Ladrillos cerámicos</i>	19
2.2.2 <i>Mortero de pega</i>	22
2.2.3 <i>Componentes del mortero de pega</i>	22
2.3 DESCRIPCIÓN DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS EN ALBAÑILERÍA	23
2.3.1 <i>Albañilería armada:</i>	23
2.3.2 <i>Albañilería confinada</i>	23
2.4 DESCRIPCIÓN DE LAS PARTES QUE FORMAN UNA ALBAÑILERÍA	23
2.5 TIPOS DE APAREJOS O DISPOSICIÓN DE LOS LADRILLOS	23
2.6 NORMATIVAS Y ENSAYOS	24
3. PROPUESTA DE MUROS DE ALBAÑILERÍA SIN TENDEL.....	27
3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL	27
3.2 PROPUESTA DE LADRILLOS	28
3.2.1 <i>Modificación triangular</i>	28
3.2.2 <i>Modificación rectangular</i>	29
3.3 PROPUESTA DE MUROS.....	30

3.4	RESULTADOS ESPERADOS	31
4.	RESULTADO DE LOS ENSAYOS	32
4.1	ENSAYO DE UNIDADES	32
4.1.1	<i>Ensayo a la compresión</i>	32
4.1.2	<i>Ensayo de absorción</i>	34
4.1.3	<i>Ensayo adherencia</i>	35
4.2	RESULTADOS: GRADO DE LOS LADRILLOS MODIFICADOS.....	37
4.3	ENSAYO RESISTENCIA BÁSICA A LA COMPRESIÓN (PRISMA).....	38
4.4	ENSAYO RESISTENCIA BÁSICA AL CORTE (MURETE)	45
4.5	ENSAYO DE PERMEABILIDAD (TUBO KARSTEN).....	51
5.	ANÁLISIS DE RESULTADO DE LOS ENSAYOS	53
5.1	ENSAYO DE UNIDADES	53
5.1.1	<i>Resistencia a la compresión</i>	53
5.1.2	<i>Ensayo de absorción</i>	55
5.1.3	<i>Adherencia de cizalle</i>	56
5.2	GRADO DE LOS LADRILLOS MODIFICADOS.....	58
5.3	ENSAYO PRISMA.....	59
5.4	ENSAYO DE MURETE.....	61
5.5	ENSAYO DE PERMEABILIDAD.....	63
5.6	ANÁLISIS DIMENSIONAL DE LOS MUROS	63
5.7	ANÁLISIS DE COSTOS	65
5.7.1	<i>Presupuesto: muro construido con ladrillos 7E</i>	67
5.7.2	<i>Presupuesto: muros construidos con ladrillos 11E</i>	70
5.7.3	<i>Comparación de valores de presupuesto</i>	73
6.	CONCLUSIONES.....	75
6.1	GRADO DE LOS LADRILLOS	75
6.2	PERMEABILIDAD DE LOS MUROS	75
6.3	RESISTENCIA DE LOS MUROS	75
6.4	ANÁLISIS DE COSTOS	75
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	77

8. ANEXOS.....	79
8.1 ANEXO A	79
8.2 ANEXO B	80
8.2.1 <i>Ensayo resistencia a la compresión</i>	80
8.2.2 <i>Ensayo de absorción</i>	82
8.2.3 <i>Ensayo de adherencia</i>	84
8.2.4 <i>Caracterización árido para mortero</i>	86
8.2.5 <i>Dosificación del mortero M17</i>	88
8.2.6 <i>Resistencia del mortero M17</i>	88
8.3 ANEXO C	92
8.4 ANEXO D	94
8.5 ANEXO E	95
8.6 ANEXO F.....	97

Listado de figuras

Figura 2.1: Partes del ladrillo.....	19
Figura 2.2 Adherencia de cizalle	25
Figura 3.1: Ladrillo (MqP)Santiago Super 7E	28
Figura 3.2: Ladrillo 7E con rebaje triangular.	28
Figura 3.3: Ladrillo (MqP) Santiago Super 11E	29
Figura 3.4: Ladrillo 11E con rebaje rectangular	29
Figura 3.5: Proceso de modificación de los ladrillos	30
Figura 3.6: Bosquejo muros de albañilería confinada sin tendel	30
Figura 4.1: Ensayo a la compresión.....	32
Figura 4.2: Rotura ladrillo 7E con rebaje rectangular, ensayo de compresión	33
Figura 4.3: Ensayo de absorción.....	34
Figura 4.4: Probeta de ensayo de adherencia de cizalle.	35
Figura 4.5: Probeta ensayo de adherencia	36
Figura 4.6: Ensayo de adherencia de cizalle con ladrillo 11E	36
Figura 4.7: Dimensiones del prisma construido con ladrillos modificados	38
Figura 4.8: Confección de prismas.....	39
Figura 4.9: Confección de prismas.....	39
Figura 4.10: Toma de medidas de los primas	41
Figura 4.11: Ensayo de probetas PN2 (izquierda) y PR1 (derecha).....	41
Figura 4.12: Manómetro utilizado.....	44
Figura 4.13: Prismas en el momento de la rotura	44
Figura 4.14: Dimensiones de los muretes construido con ladrillos modificados	45
Figura 4.15: confección de muretes	46
Figura 4.16: Tomada de medida de muretes	48
Figura 4.17: Murete Mt (Ladrillo 7E) ensayado.....	48
Figura 4.18: Ensayo Tubo Karsten.....	51
Figura 5.1: Grafico del promedio de las unidades ensayadas a la resistencia a la compresión.	54
Figura 5.2: Grafico del promedio de las unidades ensayadas a la absorción.	55
Figura 5.3: Grafico del promedio de las probetas ensayadas a la adherencia.....	57
Figura 5.4: Grafico: Ensayo prisma – carga máxima.....	59
Figura 5.5: Prisma confeccionado con ladrillos con rebaje triangular.....	60
Figura 5.6: Grafico: Ensayo prisma – Resistencia básica a la compresión.....	60
Figura 5.7: Grafico: Ensayo de muretes - carga máxima.	61
Figura 5.8: Grafico: Ensayo de muretes – resistencia básica al corte.....	62

Figura 5.9: Grafico: presupuesto de 1 metro cuadrado de muro divisorio	74
Figura 8.1: Dimensiones del rebaje triangular ladrillo 11E y 7E	79
Figura 8.2: dimensiones del rebaje rectangular ladrillo 11E y 7E	79
Figura 8.3: Grafico de granulometría	86
Figura 8.4: Ensayo de granulometría (Arena Dmax 1,25 mm)	87
Figura 8.5: Dosificación de mortero	90
Figura 8.6: Resistencia de mortero con tamaño max. 1,25 mm.	90
Figura 8.7: Ensayo de flexión y compresión de mortero.....	91
Figura 8.8: ensayo mesa de sacudida	91
Figura 8.9: Bosquejo muro de albañilería con escalerilla Acma	97
Figura 8.10: Bosquejo muro de albañilería sin tendel con armadura fi 8 como escalerilla	97
Figura 8.11: Ficha técnica trompo utilizado para confección de mortero	98

Listado de tablas

Tabla 1.1: Relación altura de columna de agua a velocidad del viento.....	17
Tabla 2.1: Características de los ladrillos cerámicos.....	20
Tabla 2.2: Distribución del Mercado Nacional, en la Industria del Ladrillo.....	21
Tabla 2.3: Características y propiedades Ladrillo Santiago Estructural.....	21
Tabla 4.1: Resistencia a la compresión.....	32
Tabla 4.2: Absorción de los ladrillos.....	34
Tabla 4.3: Adherencia de cizalle.....	37
Tabla 4.4: Tabla resumen de ensayo de unidades.....	37
Tabla 4.5: Cantidad de prismas por tipo de ladrillos.....	38
Tabla 4.6: Promedio de las medidas de los prismas confeccionados.....	40
Tabla 4.7: Resultado ensayo resistencia básica a la compresión.....	42
Tabla 4.8: Resultado resistencia básica a la compresión (corregido).....	43
Tabla 4.9: Cantidad de muretes por tipo de ladrillo.....	45
Tabla 4.10: Promedio de las dimensiones de los muretes.....	47
Tabla 4.11: Resultados ensayos resistencia básica al corte.....	49
Tabla 4.12: Resultado ensayo resistencia básica al corte (corregido).....	50
Tabla 4.13: Resultado ensayo de permeabilidad.....	52
Tabla 4.14: Grado de permeabilidad en función de penetración de agua en diez minutos.....	52
Tabla 5.1: Carga máxima promedio ensayo a la compresión.....	53
Tabla 5.2: Superficie promedio del área de contacto de los ladrillos.....	53
Tabla 5.3: Absorción promedio de las probetas ensayadas.....	55
Tabla 5.4: Carga máxima promedio ensayo de adherencia de cizalle.....	56
Tabla 5.5: Superficies de contacto de los ladrillos.....	56
Tabla 5.6: Desviación estándar de la carga máx. admisible de adherencia.....	56
Tabla 5.7: Grado de los ladrillos.....	58
Tabla 5.8: Carga y resistencia máxima a la compresión promedio.....	59
Tabla 5.9: Carga y resistencia máxima promedio al corte.....	61
Tabla 5.10: Desviación estándar de las medidas de los muros de albañilería.....	64
Tabla 5.11: Precio unitario (m ³) de mortero con tamaño máximo 2,5 milímetros.....	65
Tabla 5.12: Precio unitario (m ³) de mortero con tamaño máximo 1,25 milímetro.....	65
Tabla 5.13: Presupuesto muro de albañilería construido con ladrillo 7E sin modificar.....	67
Tabla 5.14: Presupuesto muro de albañilería construido con ladrillo 7E con rebaje triangular.....	68
Tabla 5.15: Presupuesto muro de albañilería construido con ladrillo 7E con rebaje rectangular.....	69
Tabla 5.16: Presupuesto muro de albañilería construido con ladrillo 11E sin modificar.....	70
Tabla 5.17: Presupuesto muro de albañilería construido con ladrillo 11E con rebaje triangular.....	71

Tabla 5.18: Presupuesto muro de albañilería construido con ladrillo 11E con rebaje rectangular.....	72
Tabla 5.19: Tabla resumen de presupuesto	73
Tabla 8.1: Ensayo compresión ladrillo 7E normal.....	80
Tabla 8.2: Ensayo compresión ladrillo 11E normal.....	80
Tabla 8.3: Ensayo compresión ladrillo 7E con rebaje triangular	80
Tabla 8.4: Ensayo compresión ladrillo 11E con rebaje triangular	80
Tabla 8.5: Ensayo compresión ladrillo 7E con rebaje rectangular	81
Tabla 8.6: Ensayo compresión ladrillo 11E con rebaje rectangular	81
Tabla 8.7: Ensayo absorción ladrillo 7E sin rebaje	82
Tabla 8.8: Ensayo absorción ladrillo 11E sin rebaje	82
Tabla 8.9: Ensayo absorción ladrillo 7E con rebaje triangular	82
Tabla 8.10: Ensayo absorción ladrillo 11E con rebaje triangular	82
Tabla 8.11: Ensayo absorción ladrillos 7E con rebaje rectangular	83
Tabla 8.12: Ensayo absorción ladrillos 11E con rebaje rectangular	83
Tabla 8.13: Ensayo de adherencia ladrillo 7E normal.....	84
Tabla 8.14: Ensayo de adherencia ladrillo 11E normal	84
Tabla 8.15: Ensayo de adherencia ladrillo 7E con rebaje triangular.....	84
Tabla 8.16: Ensayo de adherencia ladrillo 11E con rebaje triangular.....	85
Tabla 8.17: Ensayo de adherencia ladrillo 7E con rebaje rectangular.....	85
Tabla 8.18: Ensayo de adherencia ladrillo 11E con rebaje rectangular.....	85
Tabla 8.19: Granulometría y módulo de finura de la arena (Dmax 1,25 mm)	86
Tabla 8.20: Ensayo densidad seca	87
Tabla 8.21: Ensayo densidad absoluta compactada y absoluta suelta	87
Tabla 8.22: Dosificación del mortero.....	88
Tabla 8.23: Resistencia mortero con tamaño máximo 2,5 mm.....	88
Tabla 8.24: Resistencia mortero con tamaño máximo 1,25 mm.....	89
Tabla 8.25: Dimensiones de las caras de los prismas.....	92
Tabla 8.26: Dimensiones de las caras de los muretes	93
Tabla 8.27: especificación técnica del manómetro utilizado	94
Tabla 8.28: Presupuesto muro de tabiquería de metalcon	95
Tabla 8.29: Presupuesto muro de tabiquería de madera	96

Resumen

El uso de ladrillos para la construcción de muros de albañilería ha sido muy utilizado a lo largo de la historia, esto debido a sus características técnicas y económicas. A lo largo del tiempo se han ido innovando las técnicas constructivas de estos muros y de los ladrillos, incorporando armaduras y fabricando ladrillos a maquinas. A pesar de estas innovaciones, aún existen problemas en la construcción de estos muros, como es la imposibilidad construir más de 120 centímetros de altura del muro por día, esto debido al escurrimiento del mortero de las hiladas inferiores. En busca de una solución, se propone construir estos muros eliminando el tendel, proponiendo una modificación al ladrillo, realizando un rebaje en la cara perforada de las unidades, haciendo que los ladrillos queden en contacto, y el mortero de pega quede en el rebaje del ladrillo. Para esto se realizaron ensayos de resistencia, absorción de agua y adherencia de las unidades modificadas con rebaje triangular y unidades con rebaje rectangular. Luego de los ensayos de unidades se llevaron a cabo ensayo de prisma y murete para obtener la resistencia básica a la compresión y resistencia básica al corte de los muros de albañilería, junto con esto se realizaron ensayos de permeabilidad y análisis de costos de muros de albañilería sin tendel. Los resultados obtenidos indicaron que las características mecánicas de los ladrillos modificados son aptas para la construcción de muros de albañilería, sin embargo, los resultados demostraron que los muros propuestos no son aptos para la construcción de muros estructurales, pero si para la construcción de muros divisorios.

Palabras claves: Albañilería sin tendel, ladrillo perforado, mortero, albañilería confinada.

Abstract

The use of bricks for the construction of masonry walls has been widely used throughout history, due to its technical and economic characteristics. Throughout time they have been innovating the construction techniques of these bricks, incorporating armor and making bricks to machines. Despite these innovations, there are still problems in the construction of these walls, as is the impossibility to build more than 120 centimeters in height per day, this is due to the exhaustion of the mortar from the lower courses. In search of a solution, it is proposed to build these walls eliminating the thread, proposing a modification to the brick, making a bringdown in the perforated face of the units, making the bricks are in contact, and the mortar stay is in the bringdown of the brick. For this, tests of resistance, water absorption and adhesion of the modified units with triangular bringdown and units with rectangular dringdown were carried out. Then, the tests of the units were carried out in a testing laboratory and walls for basic resistance to compression and basic strength in the cutting of masonry walls, along with this, permeability tests and cost analysis were performed of masonry walls. The results obtained indicated that the mechanical characteristics of the modified bricks suitable for the construction of masonry walls, however, the results showed that the proposed walls are not suitable for the construction of structural walls, but for the construction of dividing walls.

Keywords: Masonry without tendel, perforated brick, mortar, confined masonry.

1. Introducción

1.1 Introducción

Las construcciones de albañilería confinada han sido muy usadas en Chile desde mediados del siglo pasado, especialmente por el buen desempeño observado en las viviendas de uno o dos pisos durante el terremoto de Chillán en 1939 (Moya, 2002). En la actualidad la albañilería es uno de los materiales más usados en la construcción de viviendas en Chile, esto se debe a los menores costos que representa construir con este material y la rapidez que se puede lograr en la construcción de viviendas al estar la mano de obra familiarizada con la ejecución de este tipo de construcciones (Holmberg F & Araneda R, 2007). Además, según datos del INE (2004), de toda la superficie edificada en el país, los ladrillos se ubican en el segundo material predominante en los muros, con un 30% luego del hormigón que se ubica con un 33%.

En el transcurso del tiempo se han ido modificando las características de los ladrillos utilizados para los muros de albañilería confinada o albañilería armada. La fábrica de ladrillo cerámico se ha empleado desde la antigüedad y tiene una gran tradición en nuestro país. Aun así, el estudio de su comportamiento estructural y resistencia sigue centrando el interés de los investigadores (Mohammed et al, 2011; Reyes et al, 2008; Reyes et al, 2009). De acuerdo a lo observado en el catastro de calidad, las soluciones nacionales de muro de albañilería son muy precarias. Esta precariedad, sumada a los diferentes niveles de exigencias en las distintas zonas, plantea la necesidad de desarrollar diferentes tipos de ladrillos o soluciones para atender los distintos niveles de mejoramiento que se demanda hoy en día. Se debe tener en cuenta también, que la viabilidad técnica y económica de una determinada solución está en relación directa con la magnitud del impacto que se quiere lograr (Ghazi Wakili & Tanner, 2003).

Hoy en día existe una gran variedad de diseños de ladrillos cerámicos, ya sean estructurales o decorativos. La norma Chilena 168 (NCh168, 2001) distingue 3 tipos de ladrillos: los ladrillos macizos hechos a máquina (MqM), ladrillos perforados hechos a máquina (MqP) y los ladrillos huecos hechos a máquina (MqH). Los MqP son aquellos ladrillos cerámicos que su volumen de vacíos es menor al 50% de su volumen total y los MqH son aquellos en que el volumen de vacíos es mayor o igual al 50% del volumen total del ladrillo. En el aspecto dimensional de las unidades de ladrillos nacionales, toda la producción industrial normal de ladrillos cerámicos en Chile, tienen dimensiones comunes y prácticamente estandarizadas, que son, aproximadamente las siguientes: 14 (cm) de ancho, 29 (cm) de largo y alturas que varían entre los 7 y 14 (cm).

Los muros construidos con ladrillo o también llamados como “Fábrica”, se definen como un material heterogéneo y anisótropo constituido por ladrillos y mortero. Su comportamiento hasta la rotura es no-lineal y depende fundamentalmente de sus componentes (ladrillo, mortero y junta ladrillo-mortero), así como de la disposición constructiva (aparejo y espesor de la junta). Los modelos de cálculo de la resistencia de muros de albañilería disponibles conducen a valores muy diferentes y en algunos casos no contemplan aspectos importantes como el espesor de junta (Monteagudo, 2010).

1.2 Planteamiento del problema

El elemento fundamental de los muros de albañilería de ladrillo es el mortero de pega, y su función primordial es actuar como un agente de vinculación o adherencia que integre a las unidades de albañilería, permitiendo que éstas trabajen en forma monolítica, ayudando a un adecuado comportamiento estructural de los muros y en general de las albañilerías de las cuales forma parte (Barera, 2002).

Estudios realizados acerca de la influencia de la junta de mortero, se determinó que a medida que disminuye el espesor de la junta, mayor es la resistencia a la carga de rotura (Casati et al, 2013).

La adherencia entre mortero y las unidades proviene del anclaje de cristales de cemento hidratado en los poros de las unidades, es decir, es un proceso físico-mecánico el cual depende de las características del mortero, la textura superficial de las caras de los ladrillos (poros) y de las condiciones de curado (Barera, 2002).

El ensayo de adherencia a cizalle tiene como objetivo determinar la adherencia entre el mortero y la unidad, al someter la junta entre ambos a un esfuerzo de corte, según procedimiento descrito en la norma chilena (NCh167, Of2001). Además, uno de los factores más importantes dentro del control de la ejecución de una albañilería corresponde al de canterías, ya que es en este lugar donde se produce, en forma generalizada, el traspaso de humedad (Industrias-Princesa).

La forma de colocación del mortero y las unidades de albañilería continúa siendo manual, y es ésta una de las variables que más incide en el comportamiento final de la albañilería. Esta variable resulta difícil de controlar y, por consiguiente, es uno de los principales factores que afecta la calidad de la construcción (Valdés, Rojas, & Pineda, 2005). Según norma chilena NCh2123 (2003) la resistencia a la compresión del mortero debe ser la que corresponda a la resistencia del ladrillo que se utilice, en el caso de los ladrillos cerámicos hechos a máquina, la resistencia no puede ser inferior a 10 MPa. Para comprobar la resistencia anteriormente señala, se debe confeccionar probetas de mortero las cuales son sometidas a ensayos de compresión (2256/1 NCh, Of2001; 2261 NCh, Of1996).

Si bien la norma específica los ensayos, requisitos de diseño y cálculo para los muros de albañilería confinada, mediante la confecciones de muretes de albañilería (NCh1928, Of2003; NCh2123, Of 2003), también menciona en el "Anexo C" que la velocidad de avance en altura para la construcción de los elementos de albañilería debe limitarse a 120 cm por día, además se recomienda construir los muros de albañilería en dos partes (en vista de la altura), por lo que no se debe construir más de 1,2 metros de altura de muro por día o 14 hileras de ladrillo por día, esto es porque el peso de las siguientes hiladas afecta al mortero, aun fresco, de las primeras hileras (ICH, 2010; Niemann, 2002; Zavala et al, 2006).

La construcción se caracteriza por ser una actividad que trabaja contra el tiempo, donde la presión por el incumplimiento de plazos es muy intensa. Esta realidad limita el esfuerzo de la administración por planificar y organizar adecuadamente los trabajos y la hace proclive a una gran cantidad de errores y problemas (Serpell, 2002).

Adicionalmente Niebel & Freivalds (2001) escriben que el mejoramiento de la productividad se refiere al incremento de la producción por hora-trabajo o por tiempo gastado. Como base fundamental para el mejoramiento de la productividad se encuentran los recursos humanos, ya que éstos son el capital como el recurso esencial para el desarrollo industrial y otros mencionan el capital como el recurso esencial para el desarrollo industrial y otros la tecnología como el factor que incrementa la misma.

En vista de lo anteriormente señalado; la limitante de construcción por día de muros de albañilería según la norma chilena, la importancia del tiempo y los cumplimientos de plazos en los proyectos y obras de construcción, se propone una modificación de los ladrillos cerámicos perforados para construir muros de albañilería confinada en donde se podrá construir estos muros sin la interrupción causada por el escurrimiento del mortero. Esta modificación consiste en realizar un rebaje triangular o rectangular en la sección perforada superior a lo largo del ladrillo, la finalidad de este rebaje es que por este se incorpore el mortero de pega, el cual no se podrá ver por ninguna cara del muro, haciendo que los ladrillos queden en contacto en sus caras perforadas, de esta forma se eliminara el tendel, manteniendo la llaga. Junto con esto se busca obtener una resistencia igual o mayor a la de un muro de albañilería construidos con ladrillos sin modificar.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Evaluación técnica y análisis de costos de muros de albañilería confinada sin tendel construidos con ladrillos cerámicos perforados, modificados con un rebaje.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Evaluar las características mecánicas de ladrillos modificados con un rebaje triangular y un rebaje rectangular.
- b) Determinar el grado de los ladrillos modificados según NCh 169 Of.2001.
- c) Evaluar la resistencia básica a la compresión y al corte de los muros de albañilería sin tendel, fabricado con los ladrillos modificados.
- d) Determinar la permeabilidad de los muros con los ladrillos modificados.
- e) Realizar un análisis de costos de los muros de albañilería sin tendel.

1.4 Alcances

- a) Los ensayos serán realizados en los laboratorios docentes de la Escuela de Construcción de la Universidad de Valparaíso y en los talleres de la Escuela Naval Arturo Prat.
- b) Los ladrillos utilizados serán ladrillo MqP de la marca Cerámica Santiago comercializados con el nombre “Súper Santiago 7E” y “Súper Santiago 11E”
- c) El mortero de pega será confeccionado con arena cuyo tamaño máximo nominal será 1,25 mm y dosificado por requisito.
- d) Solo se evaluará el comportamiento mecánico de los muros con los ladrillos modificados que presenten el mejor grado.
- e) La investigación se limita a muros de albañilería confinada.
- f) La disposición de los ladrillos o forma de colocación será de sogas y trabados a la mitad del ladrillo.

1.5 Metodología

1.5.1 Modificación de los ladrillos

Para modificar los ladrillos, se utilizará una sierra circular diamantada, los ladrillos utilizados serán ladrillos perforados hechos a máquina y sus dimensiones serán de 29 centímetros de largo, 14 centímetros de ancho y de alto se utilizarán ladrillos de 7,1 y 11,3 centímetros. Comercialmente estos ladrillos se conocen como ladrillo 7 y ladrillo 11. A estos dos ladrillos señalados, se les realizara un rebaje triangular y rectangular con el fin de verificar que ladrillo y que tipo de corte tiene mejores características.

El rebaje rectangular será de 5,6 centímetros de ancho y de 2,5 de alto, el cual se realizará a lo largo del eje central de una de las caras perforadas del ladrillo. El rebaje triangular corresponde a un triángulo rectángulo con catetos de 4 por 4 centímetros aproximadamente y una hipotenusa de 5,6 centímetros y se realizara a lo largo del eje central de una de las caras perforadas del ladrillo. El rebaje triangular y rectangular están dimensionados para que el volumen de mortero utilizado en los muros de ladrillos modificados sea menor o igual al mortero utilizado en los muros de ladrillos sin modificar.

1.5.2 Grado de los ladrillos modificados

A cada ladrillo modificado se le realizarán ensayos según NCh 169 Of.2001, los cuales se llevan a cabo a cada unidad. Estos ensayos corresponden a resistencia a la compresión, absorción de agua y adherencia. El ensayo de absorción consiste en saturar por inmersión 6 unidades durante 24 horas, las cuales previo a la inmersión, se deben cercar al horno a 110 °C para pesar las unidades en estado seco y luego se pesan saturadas. El porcentaje de absorción se determina de la diferencia entre el peso saturado y el peso seco.

El ensayo de compresión se realizará a los ladrillos 7 y 11, modificados y sin modificar. Este ensayo se llevará a cabo en los laboratorios docentes de la Escuela de Construcción de la Universidad de Valparaíso, y consiste en ejercer compresión en la sección perforada y la resistencia a la compresión se obtiene dividiendo la carga máxima por la superficie media de sus dos caras de apoyo sin descontar los orificios. En el caso de los ladrillos modificados se considerará como superficie el promedio de la sección perforada inferior y la sección modificada.

Para el ensayo de adherencia se confeccionarán probetas de tres ladrillos unidos por mortero normalizado. Este ensayo se realiza con 6 probetas a los 7 días, las cuales son sometidas a cizalle. La tensión de adherencia se calcula dividiendo la carga máxima por el área bruta total de la superficie de pega en el caso de los ladrillos sin modificados, para el caso de los ladrillos modificados el área de adherencia se considerará como el promedio entre la superficie de pega del ladrillo modificado y la sección del ladrillo sin modificar.

Con estos ensayos se podrá determinar el grado de los ladrillos modificados y comparándolos con los ladrillos normales. Para determinar el grado se utilizará como referencia la tabla 1 de la NCh 169. Of2001.

1.5.3 Resistencia mecánica de los muros

Se confeccionarán probetas con ladrillos modificados, para el caso del ensayo del prisma, se confeccionarán probetas del espesor y ancho del ladrillo, y con una altura de 6 hiladas aproximadamente. A estos prismas se ensayarán a la compresión según NCh 1928 Mod.2009 y se ensayarán al corte, en este último caso corresponde al ensayo de muretes según NCh 2123 de 1997 Mod.2003. La edad de ensayo (para ambos casos) es a la edad de 28 días.

En el caso del ensayo de murete, la resistencia básica al corte se obtiene como el cociente entre la carga de agrietamiento diagonal y el área bruta de la sección diagonal del murete. Y en el caso del ensayo de compresión se obtiene del cociente entre la carga máxima y el área de la sección transversal. El espesor del murete corresponde al ancho del ladrillo, mientras que el ancho y la altura corresponde a 60(cm) aproximadamente.

Los ensayos de muretes y prismas confeccionados con ladrillos modificados, serán comparados con ensayos de ladrillos sin modificar.

1.5.4 Permeabilidad de los muros con ladrillos modificados

Para determinar la permeabilidad de los muros de albañilería construido tanto con los ladrillos normales como los ladrillos modificados, se utilizará el método del tubo Karsten, que consiste en un tubo de graduado de vidrio transparente que posee una base circular de 2,5 cm. Este tubo esta calibrado en ml, de modo que 1 ml corresponde a 1 cm de altura de columna de agua. El método del tubo Karsten consiste básicamente en colocar el tubo graduado por medio de una masilla plástica, en los muros de manera vertical, al cual se le incorpora agua. El agua ejerce presión en el muro, la cual equivale al efecto de una lluvia acompañada de viento.

Tabla 1.1: Relación altura de columna de agua a velocidad del viento.

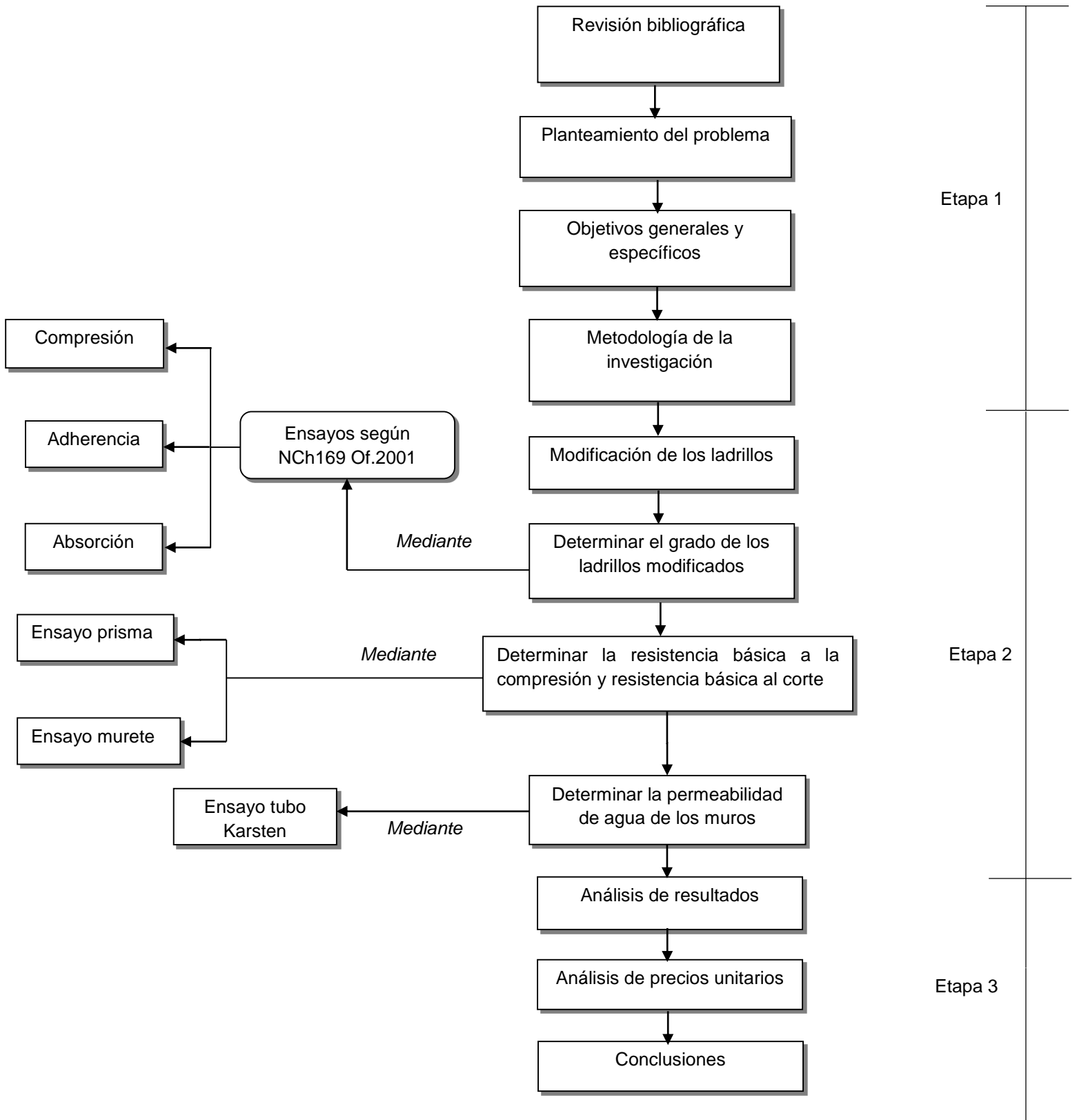
Velocidad del viento (km/h)	Altura de columna de agua (cm)
50	2
100	5
140	9,5

Fuente: Ensayo permeabilidad al agua, Tubo Karsten, Revista Bit, septiembre 2010.

1.5.5 Comparación de análisis de precios unitarios

Se realizará un análisis de costos de la construcción de un metro cuadrado de muros de albañilería confinada construido con ladrillos con rebaje triangular y rectangular, y se comparará con el precio unitario de un muro de albañilería confinada construida con ladrillos normales, tomando en cuenta los costos de material y mano de obra necesarias para una partida de albañilería de ladrillos.

1.6 Diagrama de flujo



2. Antecedentes generales de albañilería

2.1 Definición Albañilería de ladrillos

La definición de albañilería la podemos obtener de la norma chilena NCh 1928: “Material estructural que se obtiene con unidades de albañilería ordenas en hiladas según un aparejo prefijado y unidas con mortero”.

2.2 Definición de los materiales de albañilería de ladrillos

Para la construcción de paramentos de albañilería, se debe tener claro que materiales la componen y los requisitos mínimos que estos deben cumplir.

2.2.1 Ladrillos cerámicos

El ladrillo cerámico o ladrillo de arcilla se define como unidades cerámicas, generalmente rectangulares, que son obtenidas por moldeo, secado y cocción a altas temperaturas de una pasta de arcilla, que es la materia prima de este.

Bajo el punto de vista estructural, se refiere al ladrillo como cuerpo que forma parte de un muro de albañilería, esto es, cuando está confinado y trabado por la masa de mortero de pega con otras unidades, obteniendo de esta manera una resistencia mucho mayor que cuando el ladrillo está libre. El ladrillo, como parte de una albañilería, es sometido a esfuerzos mecánicos e hídricos propios del muro estructural, requisitos exigidos al ladrillo y que están definidos y regulados por las normas chilenas: de forma y terminación; geométricos; dimensionales y también, las aptitudes exigibles, mecánicas e hídricas, normas establecidas actualmente en NCh 169 Of.2001, NCh 167 Of.2001, NCh168 Of2001, NCh 1928 Mod2003 y NCh2123 Mod2003.

a) Partes del ladrillo

La NCh 168 Of2001 establece los nombres de las partes de los ladrillos.

- Cara perforada: Es la sección perforada del ladrillo.
- Cara (o Canto): Sección no perforada del ladrillo de mayor dimensión.
- Cabeza: Sección no perforada del ladrillo de menor dimensión.

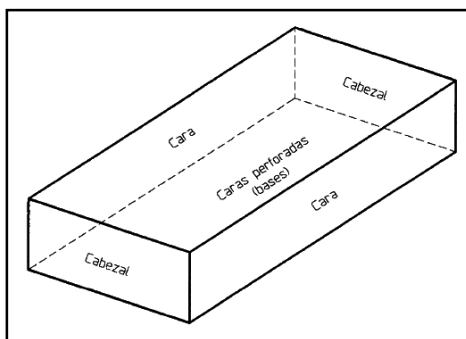


Figura 2.1: Partes del ladrillo

Fuente: NCh168-Of2001.

b) Clasificación de ladrillos cerámicos

En nuestro país, la norma NCh169 Of2001, clasifica los ladrillos en los siguientes 3 tipos:

- Ladrillos Macizos MqM

Son ladrillos sin perforaciones, que en nuestro país en general no se realizan en forma industrial.

- Ladrillos Huecos MqH.

Son unidades cerámicas hechas a máquina o industrializadas en las cuales predominan el volumen de huecos por sobre el de arcilla. Se utilizan preferentemente en la confección de tabiques divisorios livianos que no reciben cargas u no son estructurales.

- Ladrillos Perforados MqP.

Estos son aquellas unidades hechas a máquina o industrializados que poseen perforaciones y huecos, regularmente distribuidos, cuyo volumen es inferior al 50% del volumen en nuestro país para la confección de albañilería armada o confinadas.

Junto con clasificar los ladrillos, la NCh169 Of2001, establece un “grado” para los ladrillos. Este grado depende de las características de cada unidad, las que se determinan según los requisitos mecánicos del mismo. En la tabla 2.1, se presentan los requisitos mecánicos para cada grado.

Tabla 2.1: Características de los ladrillos cerámicos.

Requisitos mecánicos	Grados de ladrillos cerámicos						
	1		2		3		
	Clases de ladrillos cerámicos						
	MqM	MqP	MqH	MqP	MqH	MqP	MqH
Resistencia a la compresión, mínima [MPa]	15	15	15	11	11	5	5
Absorción de agua, máxima [%]	14	14	14	16	16	18	18
Adherencia, mínima [MPa] (área neta)	0,4	0,4	0,4	0,35	0,35	0,30	0,25

Nota: Los requisitos de los ladrillos cerámicos artesanales son tratados en NCh2123.

Fuentes: (NCh169, 2001)

La industria nacional del ladrillo hecho a máquina, se encuentra constituida por 25 empresas, según el registro de Catastro Nacional de Industrias del Ministerio de Economía. En la tabla 2.2, se muestra la distribución del mercado nacional de la industria del ladrillo.

Tabla 2.2: Distribución del Mercado Nacional, en la Industria del Ladrillo.

Empresa	Participación en el Mercado	Volumen de unidades anual
Cerámicas Santiago S.A.	50%	120.000.000
Industrias Princesa Ltda.	35%	84.000.000
Cerámica Bio Bio	3%	7.200.000
Otras	12%	28.800.000

Fuente: Ministerio de Economía, Chile, 2001.

c) Ficha ladrillo Santiago Estructural

Para esta investigación se decidió utilizar para los diferentes ensayos el ladrillo fabricado por Cerámica Santiago, el cual se conoce comercialmente como Ladrillo Santiago Estructural, el cual es diseñado para ser usado en albañilería armada y confinada, el cual satisface los requisitos especificados en la NCh 1928 y NCh 2223.

Tabla 2.3: Características y propiedades Ladrillo Santiago Estructural.

Características	Santiago 7 E	Santiago 9 E	Santiago 11 E
Ancho (cm)	14	14	14
Largo (cm)	29	29	29
Alto (cm)	7,1	9,4	11,3
Peso (Kg)	>2,55	>3,35	>4,06
Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)	150	150	150
Adherencia al mortero (Kg/cm ²)	4	4	4
Resistencia al fuego (F°)	120	120	120
Aislación acústica (dB)	>45	>45	>45
Trasmisión térmica (W/m ² K)	2,1	1,9	1,9
Absorción de agua (%)	<14	<14	<14

Fuente: Idiem, (Ceramicas Santiago, 2014)

De los ladrillos presentes en la tabla 2.3, se realizarán los ensayos con los ladrillos identificados como Santiago 7 E y 11 E.

2.2.2 Mortero de pega

El mortero de pega es un material aglomerante, utilizado para pegar unidades de albañilería entre sí, constituido por la combinación de cemento, arena y agua. En ocasiones, es recomendable utilizar aditivos para mejorar propiedades de consistencia, retención de agua, tiempo de fraguado, etc. Puede ser fabricado en obra o predosificado. Su función es producir adherencia entre las unidades de albañilería, generando trasposos de carga entre ellas, sellando las juntas entre las unidades, asegurando su impermeabilidad al agua y al aire.

Las características del mortero de pega para muros de albañilería, se establecen en la NCh2256/1 Of2001 que establece los requisitos generales, los que se describen a continuación:

- a) Trabajabilidad: Debe ser tal que se extienda con facilidad y cubra las superficies de las unidades de albañilería. Para el ensayo de mesa de sacudida, el escurrimiento debe ser del orden de 180 - 220 mm. Mientras que para el ensayo de cono reducido debe ser del orden de 40 – 70 mm.
- b) Retención de agua o retentividad: Debe poseer una buena retentividad para evitar que el mortero pierda agua en forma excesiva, la cual puede no ser absorbida por las unidades de albañilería, produciéndose una separación entre ladrillo y mortero. Un mortero con buen comportamiento debe tener una retentividad mayor al 70%, que corresponde a grado 1 según norma NCh 2256/1.
- c) Resistencia: La resistencia a la compresión de un mortero debe cumplir con la especificación del proyecto o normativa vigente.
- d) Adherencia: Es la capacidad de absorber tensiones normales y tangenciales a la superficie que une el mortero y una estructura, es decir a la capacidad de responder monolíticamente con las piezas que une ante solicitudes de carga. En el caso de la mampostería, para obtener una buena adherencia es necesario que la superficie sobre la cual se va a colocar el mortero sea tan rugosa como sea posible y tenga una absorción adecuada, comparable con la del mortero.

2.2.3 Componentes del mortero de pega

- a) Cemento: El cemento se presenta en forma de un polvo muy fino, de color gris. Mezclado con agua, forma una pasta que endurece, tanto bajo agua como al aire, característica que lo define como un conglomerante hidráulico.
- b) Áridos: Material pétreo compuesto de partículas duras, de forma y tamaño estable. Constituye un elemento importante en los morteros, ya sea desde el punto de vista volumétrico o en relación con el peso, ocupan gran parte del volumen final. Tanto el árido fino como el grueso, deben cumplir con la norma NCh163, Of 2013.
- c) Agua: El agua desempeña dos roles muy importantes: participa en el proceso hidratación del cemento y otorga la trabajabilidad necesaria al mortero. Es un componente fundamental, ya que de ella depende el desarrollo de las propiedades del mortero, tanto en su estado fresco como en su estado endurecido.

2.3 Descripción de sistemas constructivos en albañilería

2.3.1 Albañilería armada:

Albañilería que lleva incorporados refuerzos de barras de acero en las perforaciones verticales y en las juntas (o tendel) de las unidades.

2.3.2 Albañilería confinada

Albañilería reforzada con pilares y cadenas de hormigón, elementos que enmarcan y se hormigonan contra el paño de albañilería.

2.4 Descripción de las partes que forman una albañilería

En necesario a que en la construcción se deban conocer los nombres técnicos de las partes que componen un muro de albañilería, a continuación, se definen algunos de ellos:

- a) **Hilada:** Conjunto de ladrillos colocados en un mismo plano horizontal de una albañilería.
- b) **Llaga:** Se llama llaga a la unión vertical entre dos ladrillos en un muro de albañilería.
- c) **Cara:** Corresponde al lado del muro por el cual se pone la lienza, también recibe el nombre de plomo del muro.
- d) **Contracara:** Es el lado opuesto o posterior a la cara del muro, también recibe el nombre de tras plomo.
- e) **Escantillón:** Corresponde a la medida del espesor del mortero del tendel, más la altura del ladrillo.
- f) **Tendel:** Capa horizontal de mortero que une las hiladas.
- g) **Escalerillas:** Elemento de refuerzo, formado por barras de acero transversal, soldadas a dos barras longitudinales. Se colocan sumergidas en el mortero, entre las hiladas de ladrillos.

2.5 Tipos de aparejos o disposición de los ladrillos

- 2.5.1 **De sogá:** El ladrillo va puesto sobre su cara y su canto tiene, en la hilada, la misma dirección del muro. La traba puede ser a la mitad del ladrillo o a un terco del él. Es la forma de colocación más usada.
- 2.5.2 **Tizón o de cabeza:** El ladrillo va puesto sobre su cara y su cabeza, en la hilada, tiene la misma dirección del muro. Permite obtener de mayor espesor.
- 2.5.3 **Pandereta o panderete:** Colocado sobre su canto, y su cara, en la hilada, tiene la misma dirección del muro. Se utiliza en cierres perimetrales de terrenos o como tabique en interiores.
- 2.5.4 **Sardinel:** Van colocados de canto y su cabeza, en la hilada, tiene la misma dirección del muro. Su mayor dimensión es perpendicular al muro. Permite obtener muros de mayor espesor (gradas de escaleras, bordes de terrazas y dinteles).

2.6 Normativas y ensayos

2.6.1 NCh 168.Of2001

Construcción – Ladrillos Cerámicos – Clasificación y requisitos: Esta norma establece una clasificación y los requisitos que deben cumplir los ladrillos cerámicos de fabricación industrial (hechos a máquina), que se utilizan en la construcción de viviendas, edificios y obras civiles en general.

2.6.2 NCh 167.Of2001

Construcción – Ladrillos cerámicos – Ensayos: Esta norma establece los procedimientos para ensayos de resistencia a la compresión, absorción de agua, adherencia a cizalle, eflorescencia y succión de los ladrillos cerámicos.

Para esta investigación se tomarán en cuenta los ensayos de resistencia a la compresión, absorción de agua y adherencia, los cuales ayudarán a determinar el grado de los ladrillos según NCh168.Of2001.

a) Ensayo resistencia a la compresión.

Este ensayo consiste en someter a esfuerzo de compresión a 6 probetas, donde cada probeta corresponde a una unidad de ladrillo cerámico. Para el ensayo las probetas deben estar secas. Las unidades deben ser ensayadas en una prensa provista de rotula, esta prensa debe tener una superficie de apoyo limpia y la aplicación de la carga debe tener una velocidad de carga que no exceda los 20 MPa/min.

La resistencia a compresión de cada ladrillo se obtiene dividiendo la carga máxima por la superficie media de sus dos caras de apoyo (sin descontar los orificios), siendo expresada en MPa, con aproximación a 0,1 MPa. Como resultado del ensayo, se debe obtener el valor promedio de las 6 unidades, este promedio representa la resistencia a la compresión de las unidades de ladrillos cerámicos.

b) Ensayo absorción de agua.

Este ensayo consiste en obtener la absorción de agua de los ladrillos, con una muestra de 6 unidades, donde los ladrillos se secan en un horno a la temperatura de 110°C a 115°C durante 24 horas, luego se pesan considerando un peso P1. Luego se saturan por inmersión durante 24 horas, para luego ser pesados en estado húmedo. La absorción de cada ladrillo se calcula con la siguiente formula:

$$A = \frac{(P2 - P1)}{P1} \times 100[\%]$$

La absorción de los ladrillos cerámicos ensayados, será obtenido por el valor promedio de las 6 unidades ensayadas.

c) Ensayo adherencia.

El ensayo de adherencia se realiza sometiendo a cizalle probetas formadas por tres ladrillos cerámicos pegados con un mortero normalizado, según se especifica en la presente norma. La cantidad mínima de unidades para realizar este ensayo es de 18 ladrillos cerámicos, con los que se confeccionan 6 probetas. Cada probeta está constituida por tres ladrillos unidos por mortero formado un prisma recto, como se muestra en la figura 2.2:

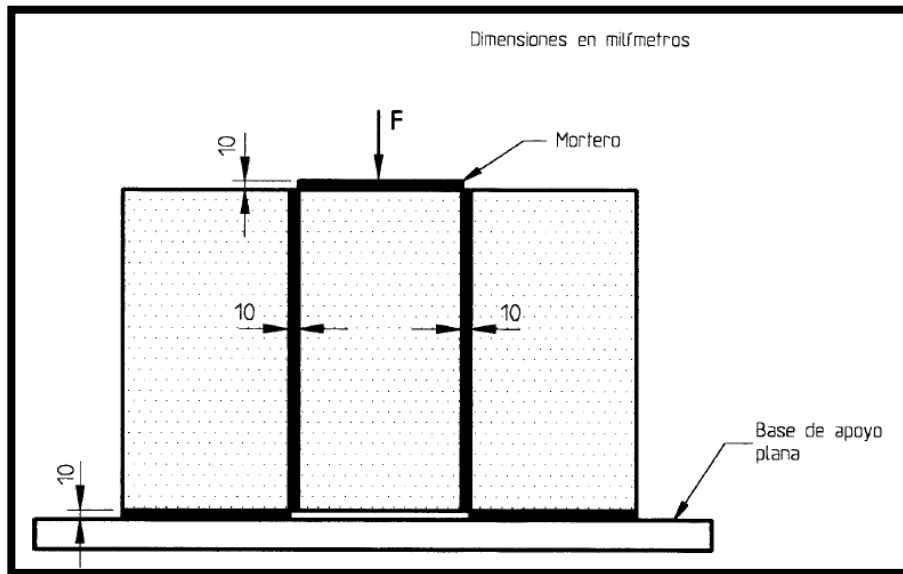


Figura 2.2 Adherencia de cizalle

Fuente: (NCh167, 2001)

Las bases de apoyo y la de aplicación de carga se debe refrenar con una pasta de yeso-cemento, de proporción 1:1 en peso.

El ensayo se realiza colocando carga con una prensa en la unidad de en medio, con una velocidad de carga que no debe ser mayor a 1 MPa por minuto. Las probetas deben ensayarse a los 7 días, y la tensión de advertencia se calcula según la siguiente expresión:

$$A = \frac{P}{S} [MPa]$$

Donde A es la adherencia en MPa, P la carga máxima en N y S el área bruta total de la superficie de pega en mm².

La resistencia de adherencia de las unidades, se obtiene como el valor promedio de las 6 probetas ensayadas.

2.6.3 NCh 2123 – 1997 Mod-2003

Albañilería confinada – Requisitos de diseño y calculo: Esta norma establece los criterios de diseño y los métodos de cálculo de las construcciones de albañilería confinada, en las que se utilizan estructuralmente muros compuestos por unidades de albañilería. Los muros deben estar totalmente enmarcados por elementos de hormigón armado.

Resistencia básica a la compresión: La resistencia básica a la compresión se debe especificar a la edad de 28 días. Se puede obtener esta resistencia a partir de ensayos de prisma de albañilería. El procedimiento de ensayo debe ser el establecido en Anexo B de NCh1928. El prisma debe tener el espesor del muro, en este caso corresponde al ancho del ladrillo, la longitud del prisma corresponde al largo del ladrillo y la altura debe ser mayor o igual a tres veces el ancho del ladrillo.

La resistencia básica a la compresión se determina del ensayo de cinco probetas, quedando definida por el siguiente valor:

$$f_m' = \bar{x} - 0,431 (x_5 - x_1)[MPa]$$

En que \bar{x} es la resistencia promedio a la compresión de los cinco prismas ensayados. Y x_5, x_1 Corresponde al mayor y al menor valor de resistencia a la compresión obtenidos de los ensayos.

Resistencia básica al corte: la resistencia básica al corte se debe especificar a la edad de los 28 días. Se puede obtener esta resistencia a partir de ensayos de muretes cuadrados de albañilería. El espesor del murete es igual al ancho del ladrillo y la longitud de las aristas del murete deben ser mayor o igual a 60 centímetros. La resistencia básica de corte se determina del ensayo de cinco muretes quedando definida por el siguiente valor:

$$\tau_m' = \bar{x} - 0,431 (x_5 - x_1)[MPa]$$

En que \bar{x} es la resistencia promedio a la compresión de los cinco muretes ensayados. Y x_5, x_1 Corresponde al mayor y al menor valor de resistencia a la compresión obtenidos de los ensayos.

El ensayo de los muretes de albañilería se debe hacer de acuerdo con lo estipulado en el Anexo A de la NCh2123.Of2001.

Módulo de elasticidad y módulo de corte: para los efectos de calcular las deformaciones producidas por la acción sísmica, el módulo de elasticidad E_m y el módulo de corte G_m de la albañilería se debe determinar con las siguientes expresiones:

$$E_m = 1000 f_m'$$

$$G_m = 0,3 E_m$$

3. Propuesta de muros de albañilería sin tendel

3.1 Descripción general

El desarrollo de la investigación contempla tres etapas, las cuales son detalladas a continuación.

3.1.1 Etapa de ensayo de unidades

En esta etapa se llevarán a cabo los ensayos a las unidades, las que corresponde a las señaladas en 2.6.2. Las unidades ensayadas corresponden a ladrillos sin modificar y ladrillos modificados, de esta manera se realizará una comparación y análisis de los ensayos, determinando el grado de los ladrillos según NCh168.Of2003.

3.1.2 Etapa de ensayo muretes y prisma

En esta etapa se confeccionarán probetas con los ladrillos modificados y sin modificar, con el fin de realizar una comparación en base a la resistencia básica al corte y resistencia base a la compresión que se obtenga de los ensayos.

3.1.3 Etapa de evaluación de costos

Una vez obtenido los resultados de las etapas anteriores, se llevará a cabo una comparación de los costos de la construcción de muros de albañilería confinada con los ladrillos modificados versus los ladrillos sin modificar.

3.2 Propuesta de ladrillos

En esta investigación, se propone la construcción de muros de albañilería confinada sin “tendel”, esto mediante una modificación de los ladrillos cerámicos. Esta modificación consiste en realizar un rebaje a lo largo de la cara perforada del ladrillo, el cual se realizará con una sierra circular diamantada, este proceso de corte se muestra en la figura 3.5. A continuación se describirán la modificación propuesta.

3.2.1 Modificación triangular

La geometría del rebaje triangular corresponde a un triángulo rectángulo, con catetos de 4 centímetros y con una hipotenusa de 5,6, donde la hipotenusa se ubicará en el medio de la cara perforada. Este rebaje se realizará a lo largo del eje de la cara perforada y en la arista de mayor dimensión del cabezal. En la figura 3.2 se muestra un ladrillo 7E con rebaje triangular.



Figura 3.1: Ladrillo (MqP)Santiago Super 7E

Fuente: <http://www.sodimac.cl>



Figura 3.2: Ladrillo 7E con rebaje triangular.

Fuente: elaboración propia (2017).

3.2.2 Modificación rectangular

La geometría del rebaje rectangular corresponde a un rectángulo de 5,6 centímetros de ancho y de 2,5 de alto, el cual se realizará a lo largo del eje de la cara perforada y en la arista de mayor dimensión del cabezal. En la figura 3.4 se muestra un ladrillo 11E con rebaje rectangular.



Figura 3.3: Ladrillo (MqP) Santiago Super 11E

Fuente: <http://www.sodimac.cl>



Figura 3.4: Ladrillo 11E con rebaje rectangular

Fuente: Elaboración propia (2017).

En Anexo A se muestra la figura 8.1 y 8.2 describiendo las medidas de cada rebaje.

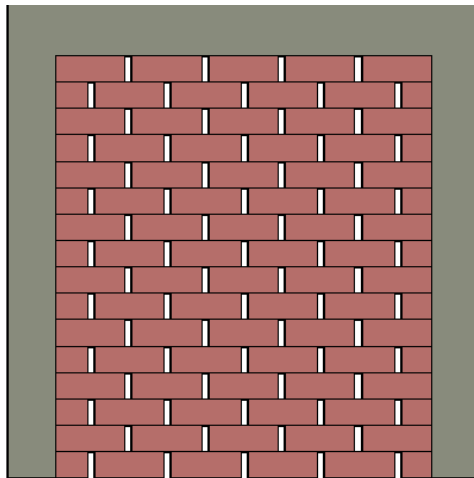


Figura 3.5: Proceso de modificación de los ladrillos

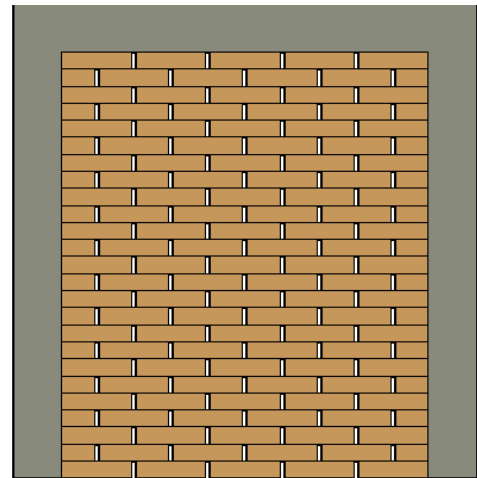
Fuente: Elaboración propia (2017).

3.3 Propuesta de muros

La propuesta de muros de albañilería confinada sin tendel corresponde a muros donde los ladrillos quedan en contacto entre sus caras perforadas y el mortero de pega no será visible, ya que ira dentro del rebaje. Cabe señalar que la cantería vertical (llaga) se conservará, ya que no influye en una solución a la problemática planteada.



Muro de albañilería confinada con ladrillo 11E modificado



Muro de albañilería confinada con ladrillo 7E modificado

Figura 3.6: Bosquejo muros de albañilería confinada sin tendel

Fuente: Elaboración propia (2017).

3.4 Resultados esperados

Para esta investigación se espera que de los ensayos de las unidades modificadas se obtenga una resistencia a la compresión y adherencia igual o superior que la de los ladrillos sin modificar, para así comparar el grado de los ladrillos.

En el caso de los ensayos de los muretes y prisma, se espera obtener para los ladrillos modificados una resistencia básica a la compresión y al corte igual o mayor que las probetas de ladrillos sin modificar. Junto con esto se espera obtener beneficios en costos al construir muros con los ladrillos propuestos.

4. Resultado de los ensayos

4.1 Ensayo de unidades

4.1.1 Ensayo a la compresión

Cerámicas Santiago entrega en su ficha técnica la resistencia a la compresión de sus ladrillos, pero con el fin de comparar la resistencia a la compresión de los ladrillos, se decidió ensayar a la compresión tanto los ladrillos con y sin rebaje. En la tabla 4.1 se muestra los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión en mega pascales, estos resultados corresponden a los promedios de las 6 probetas ensayadas para cada tipo ladrillo.

Tabla 4.1: Resistencia a la compresión

Ensayos	LADRILLO					
	Ladrillo Normal		Ladrillo con rebaje Triangular		Ladrillo con rebaje Rectangular	
	7E	11E	7E	11E	7E	11E
Resistencia (Mpa)	12,4	11,0	13,4	12,6	14,2	12,3

Fuente: Elaboración propia (2017).



Figura 4.1: Ensayo a la compresión

Fuente: Elaboración propia (2017).



Figura 4.2: Rotura ladrillo 7E con rebaje rectangular, ensayo de compresión

Fuente: Elaboración propia (2017).

4.1.2 Ensayo de absorción

En la tabla 4.2 se muestran los resultados del ensayo de absorción, siendo estos los promedios de las 6 unidades ensayadas, tanto para el ladrillo modificados y sin modificar, 7E y 11E.

Tabla 4.2: Absorción de los ladrillos

Ensayos	LADRILLO					
	Ladrillo Normal		Ladrillo con rebaje triangular		Ladrillo con rebaje rectangular	
	7	11	7	11	7	11
Absorción	9,85%	11,08%	10,33%	11,18%	10,24%	11,09%

Fuente: Elaboración propia (2017).



Figura 4.3: Ensayo de absorción

Fuente: Elaboración propia (2017).

En el anexo B, 8.2.2, se presenta los resultados de todas las unidades ensayadas.

4.1.3 Ensayo adherencia

Al igual que el ensayo a la compresión, se realizó el ensayo de adherencia a los ladrillos con y sin rebaje. En la tabla 4.3 se muestran los resultados promedio en mega pascales de las 6 probetas ensayadas para cada tipo de ladrillo.

Para este ensayo se debió hacer una modificación, ya que en primera instancia las probetas se confeccionaron con 3 ladrillos modificados, lo que provocó que se aplicara carga al mortero que se incorporó al ladrillo de en medio, es decir al ladrillo donde se aplica la carga.

Para que la carga no se aplique en el mortero del ladrillo de en medio, se optó por confeccionar las probetas en las que el ladrillo de en medio sea un ladrillo sin modificar, de tal manera que los dos ladrillos de extremo sean ladrillos modificados, con la cara perforada con rebaje en contacto con la cara perforada del ladrillo sin modificar como se muestra en la figura 4.4.



Figura 4.4: Probeta de ensayo de adherencia de cizalle.

Fuente: Elaboración propia (2017).

El mortero dosificado se confecciono en Trompo de volteo eléctrico. En el Anexo G de presente documento se muestra la ficha técnica del trompo utilizado.



Figura 4.5: Probeta ensayo de adherencia
Fuente: Elaboración propia (2017).



Figura 4.6: Ensayo de adherencia de cizalle con ladrillo 11E
Fuente: Elaboración propia (2017).

Tabla 4.3: Adherencia de cizalle

Ensayos	LADRILLO					
	Ladrillo Normal		Ladrillo con rebaje Triangular		Ladrillo con rebaje Rectangular	
	7E	11E	7E	11E	7E	11E
Adherencia (Mpa)	0,50	0,76	0,85	1,19	0,66	0,91

Fuente: Elaboración propia (2017).

4.2 Resultados: Grado de los ladrillos modificados

En la tabla 4.4 se muestra el resumen de los resultados promedio de los tres ensayos realizados.

Tabla 4.4: Tabla resumen de ensayo de unidades

Ensayos	LADRILLO					
	Ladrillo Normal		Ladrillo con rebaje Triangular		Ladrillo con rebaje Rectangular	
	7	11	7	11	7	11
Compresión (Mpa)	12,4	11,0	13,4	12,6	14,2	12,3
Absorción	9,85%	11,08%	10,33%	11,18%	10,24%	11,09%
Adherencia (Mpa)	0,50	0,76	0,85	1,19	0,66	0,91

Fuente: Elaboración propia (2017).

4.3 Ensayo resistencia básica a la compresión (prisma).

Para el ensayo de resistencia básica a la compresión, se confeccionaron 18 prismas, los que fueron ensayados a los 28 días. En la tabla 4.6 se muestran la cantidad de prismas confeccionados y ensayados.

Según NCh 1928 Of.2003, se deben ensayar 5 prismas para establecer la resistencia, en este caso se confeccionaron 5 prismas con los ladrillos con rebaje triangular tanto 7E como 11E, mientras que, para los demás tipos de ladrillo, solo se confeccionaron 2 de cada tipo para obtener una muestra patrón.

Tabla 4.5: Cantidad de prismas por tipo de ladrillos

Ensayo		Probetas para ensayo prismas					
		Tipo de la ladrillo					
		7E normal	11E normal	7E rectangular	11E rectangular	7E triangular	11E triangular
Resist. básica a la compresión	Prisma	2	2	2	2	5	5

Fuente: Elaboración propia (2017).

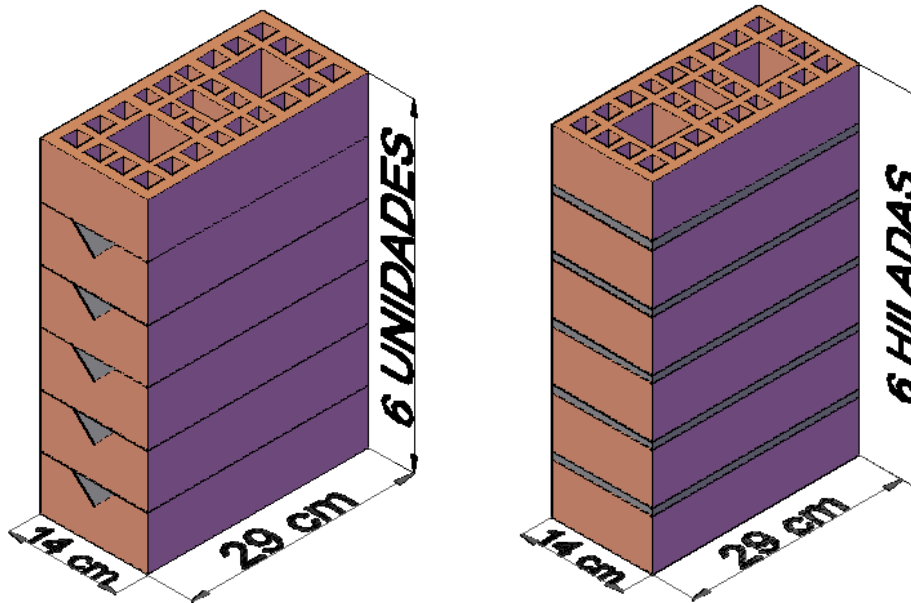


Figura 4.7: Dimensiones del prisma construido con ladrillos modificados (izquierda) y con ladrillos sin modificar (derecha)

Fuente: Elaboración propia (2017).

Figura 4.8: Confección de prismas.



Figura 4.9: Confección de prismas.

Fuente: Elaboración propia (2017).

Previo a someter a los prismas a compresión, se tomaron las medidas de cada prisma, estas medidas corresponden a la altura, espesor y longitud del prisma, tal como lo indica la NCh 1928 Of.2003. En la tabla 4.7 se muestra las medidas promedio y el área transversal de cada prisma.

Tabla 4.6: Promedio de las medidas de los prismas confeccionados

	h promedio (cm)	e promedio (cm)	l promedio (cm)	Área bruta (cm ²)	Área neta ladrillo sin rebaje (cm ²)	Área neta ladrillo con rebaje (cm ²)	Área de contacto promedio (cm ²)
	h	e	l	e x l	A	B	(A+B)/2
Pt1	42,6	14,1	29,0	407,5	224,1	231,84	228,0
Pt2	42,6	14,0	29,1	405,2	222,9	231,84	227,4
Pt3	42,6	14,1	29,1	408,9	224,9	231,84	228,4
Pt4	42,7	14,1	29,0	408,2	224,5	231,84	228,2
Pt5	42,7	14,0	28,9	404,6	222,5	231,84	227,2
PT1	45,0	14,0	29,1	407,4	224,1	231,84	228,0
PT2	45,5	14,1	29,0	408,9	224,9	231,84	228,4
PT3	45,4	14,2	29,2	413,9	227,7	231,84	229,8
PT4	45,5	14,1	29,0	407,5	224,1	231,84	228,0
PT5	45,6	14,0	29,0	406,0	223,3	231,84	227,6
Pr1	42,6	14,0	29,0	406,0	223,3	Área bruta: Superficie total, incluyendo el área de las perforaciones y huecos.	
Pr2	42,8	14,0	29,0	406,0	223,3		
PR1	45,2	14,1	29,0	408,2	224,5	Área neta: Superficie real, descontando el área de las perforaciones y huecos.	
PR2	45,3	14,1	29,3	411,7	226,4		
Pn1	45,7	14,1	29,2	410,3	225,6		
Pn2	46,2	14,0	28,9	404,6	222,5		
PN1	46,9	13,9	29,2	405,9	223,2		
PN2	46,9	14,1	29,2	411,7	226,4		

Fuente: Elaboración propia (2017).

Donde:

Pt: prisma confeccionado con ladrillo 7E con rebaje triangular.

PT: prisma confeccionado con ladrillo 11E con rebaje triangular.

Pr: prisma confeccionado con ladrillo 7E con rebaje rectangular.

PR: prisma confeccionado con ladrillo 11E con rebaje rectangular.

Pn: prisma confeccionado con ladrillo 7E sin modificación.

PN: prisma confeccionado con ladrillo 11E sin modificación.

Para obtener el área de contacto de los prismas, se tomaron las medidas de la altura de las cuatro caras de los prismas, dos medidas del espesor y dos medidas de la longitud, tal como lo indica la NCh 1928 Of.2003. Para el caso de los prismas confeccionados con los ladrillos con rebaje triangular, el área promedio de contacto se obtuvo del área del ladrillo sin modificar, promediado con el área de los ladrillos con rebaje triangular, en la cual no se consideran el área de las perforaciones.

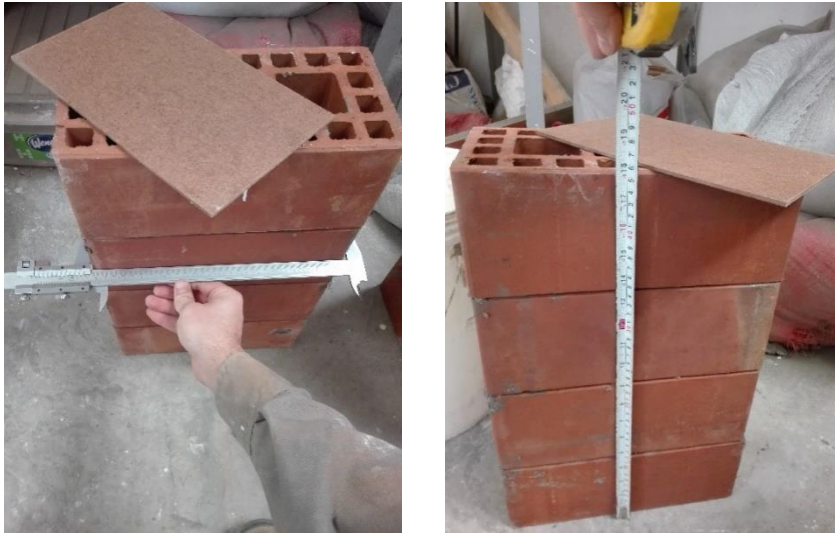


Figura 4.10: Toma de medidas de los prismas

Fuente: Elaboración propia (2017).

Para calcular la resistencia básica a la compresión, se debe determinar cómo se menciona en 2.6.3. En donde la resistencia es el cociente entre la carga máxima y el área de contacto promedio.

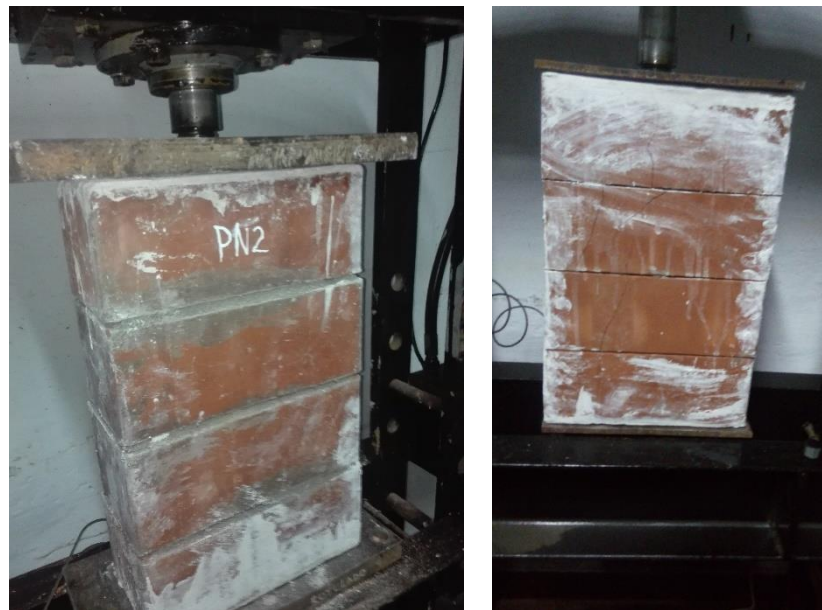


Figura 4.11: Ensayo de probetas PN2 (izquierda) y PR1 (derecha).

Fuente: Elaboración propia (2017).

Tabla 4.7: Resultado ensayo resistencia básica a la compresión

	Presión manómetro	Presión manómetro	Carga máxima	Carga máxima	Área de contacto	Resistencia máxima	Resistencia máxima
	PSI	N/mm ²	N	Kgf	cm ²	Kgf/cm ²	Mpa
Pt1	2.600	17,93	173.383,57	17.680,11	228,0	77,55	7,61
Pt2	4.000	27,58	266.743,96	27.200,17	227,4	119,63	11,73
Pt3	2.200	15,17	146.709,11	14.960,09	228,4	65,51	6,42
Pt4	2.800	19,31	186.720,69	19.040,11	228,2	83,45	8,18
Pt5	2.800	19,31	186.720,69	19.040,11	227,2	83,81	8,22
Resistencia promedio							8,43
Resistencia máxima							11,73
Resistencia mínima							6,42
fm': resistencia básica compresión							6,15
PT1	3.800	26,20	253.406,65	25.840,16	224,1	115,32	11,31
PT2	4.000	27,58	266.743,84	27.200,16	224,9	120,95	11,86
PT3	3.800	26,20	253.406,65	25.840,16	227,7	113,50	11,13
PT4	3.000	20,68	200.057,88	20.400,12	224,1	91,03	8,93
PT5	2.700	18,62	180.052,09	18.360,11	223,3	82,22	8,06
Resistencia promedio							10,26
Resistencia máxima							11,86
Resistencia mínima							8,06
fm': resistencia básica compresión							8,62
Pr1	2.000	13,79	133.371,92	13.600,08	223,3	60,90	5,97
Pr2	3.000	20,68	200.057,88	20.400,12	223,3	91,36	8,96
Resistencia promedio							7,47
PR1	2.600	17,93	173.383,50	17.680,11	224,5	78,75	7,72
PR2	3.000	20,68	200.057,88	20.400,12	226,4	90,10	8,84
Resistencia promedio							8,28
Pn1	4.300	29,65	286.749,63	29.240,18	225,6	129,59	12,71
Pn2	4.000	27,58	266.743,84	27.200,16	222,5	122,23	11,99
Resistencia promedio							12,35
PN1	3.200	22,06	213.395,07	21.760,13	223,2	97,48	9,56
PN2	3.800	26,20	253.406,65	25.840,16	226,4	114,11	11,19
Resistencia promedio							10,37

Fuente: Elaboración propia (2017).

Para ensayar los prismas se utilizó una prensa hidráulica, la cual entrega la presión mediante un manómetro "Winters PFQ Series" el cual entrega la presión en PSI. Para transformar la presión del manómetro a carga, se divide la presión por el área del pistón. Ver ficha técnica en anexo D.

Según los resultados de los prismas confeccionados con ladrillos 7E con rebaje triangular, el prisma Pt2 obtuvo un resultado que se aleja a la resistencia de los demás prismas, esto mismo ocurre con el prisma PT5. Para este caso, esos valores se eliminan.

Tabla 4.8: Resultado resistencia básica a la compresión (corregido).

	Presión manómetro	Presión manómetro	Carga máxima	Carga máxima	Área de contacto	Resistencia máxima	Resistencia máxima
	PSI	N/mm2	N	Kgf	cm2	Kgf/cm2	Mpa
Pt1	2.600	17,93	173.383,57	17.680,11	228,0	77,55	7,61
Pt2							
Pt3	2.200	15,17	146.709,11	14.960,09	228,4	65,51	6,42
Pt4	2.800	19,31	186.720,69	19.040,11	228,2	83,45	8,18
Pt5	2.800	19,31	186.720,69	19.040,11	227,2	83,81	8,22
Resistencia promedio							7,61
Resistencia máxima							8,22
Resistencia mínima							6,42
fm': resistencia básica compresión							6,83
PT1	3.800	26,20	253.406,65	25.840,16	224,1	115,32	11,31
PT2	4.000	27,58	266.743,84	27.200,16	224,9	120,95	11,86
PT3	3.800	26,20	253.406,65	25.840,16	227,7	113,50	11,13
PT4	3.000	20,68	200.057,88	20.400,12	224,1	91,03	8,93
PT5							
Resistencia promedio							10,81
Resistencia máxima							11,86
Resistencia mínima							8,93
fm': resistencia básica compresión							9,54

Fuente: Elaboración propia (2017).



Figura 4.12: Manómetro utilizado

Fuente: Elaboración propia (2017).



Figura 4.13: Prismas en el momento de la rotura

Fuente: Elaboración propia (2017).

4.4 Ensayo resistencia básica al corte (murete)

Al igual que en ensayo de los prismas, para el ensayo de resistencia básica al corte, se confeccionaron 18 muretes con 60 centímetros de longitud aproximadamente. Estos muretes son ensayados a los 28 días. En la tabla se muestran la cantidad de muretes confeccionados por ensayo.

Tabla 4.9: Cantidad de muretes por tipo de ladrillo

Ensayo		Probetas para ensayo de muretes					
		Tipo de la ladrillo					
		7E normal	11E normal	7E rectangular	11E rectangular	7E triangular	11E triangular
Resist. básica al corte	Murete	2	2	2	2	5	5

Fuente: Elaboración propia (2017).

Según NCh 2123 Of.2003, se deben ensayar 5 muretes para establecer la resistencia, en este caso se confeccionaron 5 muretes con ladrillos con rebajo triangular tanto 7E como 11E, mientras que, para los demás tipos de ladrillo, solo se confeccionaron 2 de cada tipo para obtener una muestra patrón.

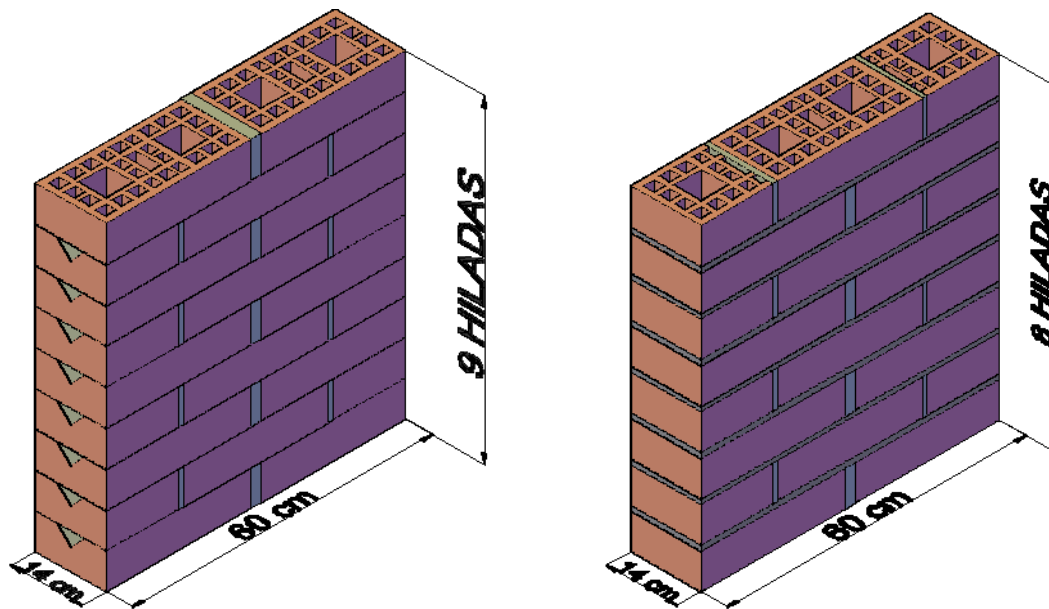


Figura 4.14: Dimensiones de los muretes construido con ladrillos modificados (izquierda) y con ladrillos sin modificar (derecha)

Fuente: Elaboración propia (2017).



Figura 4.15: confección de muretes

Fuente: Elaboración propia (2017).

Un factor que se debe considerar en la propuesta de muros de albañilería sin tendel son las dimensiones de los muros, ya que, estas dimensiones podrían tener una gran variación debido a las caras imperfectas de los ladrillos, que, para el caso de los muros sin tendel quedan en contacto. Para verificar lo anteriormente señalado, se tomaron las dimensiones de las caras de los muretes según lo señala la NCh 2123 Of.2003, con el fin de obtener el área de la sección diagonal que se requiere para obtener la resistencia al corte de los muros y además verificar la homogeneidad de los muros. En el anexo C se muestran todas las mediciones realizadas, de las cuales se hicieron a la mitad del murete, midiendo la longitud y altura del murete por sus 4 caras, y el espesor en dos caras. En la tabla 4.11 se muestran las dimensiones promedios del espesor, largo y alto de los muretes.

Tabla 4.10: Promedio de las dimensiones de los muretes

Murete	e promedio (cm)	h promedio (cm)	l promedio (cm)
Mt1	14,0	67,8	61,1
Mt2	13,9	68,0	59,8
Mt3	13,9	67,5	59,7
Mt4	13,8	68,1	59,7
Mt5	13,9	68,2	59,6
MT1	13,8	64,6	60,2
MT2	13,9	63,6	60,7
MT3	13,8	63,8	60,1
MT4	13,6	64,0	60,1
MT5	13,6	64,4	61,0
Mr1	13,9	67,9	59,9
Mr2	13,9	68,1	59,5
MR1	13,7	64,0	60,7
MR2	13,9	64,0	60,0
Mn1	13,9	62,2	60,3
Mn2	13,5	63,3	60,4
MN1	13,7	58,9	59,9
MN2	13,8	59,7	59,8

Fuente: Elaboración propia (2017).

Donde:

e: espesor del murete.

l: largo del murete.

h: altura del murete.

Mt: Murete confeccionado con ladrillo 7E con rebaje triangular.

MT: Murete confeccionado con ladrillo 11E con rebaje triangular.

Mr: Murete confeccionado con ladrillo 7E con rebaje rectangular.

MR: Murete confeccionado con ladrillo 11E con rebaje rectangular.

Mn: Murete confeccionado con ladrillo 7E sin modificación.

MN: Murete confeccionado con ladrillo 11E sin modificación.



Figura 4.16: Tomada de medida de muretes

Fuente: Elaboración propia (2017).



Murete sin falla



Murete agrietado



Murete roto

Figura 4.17: Murete Mt (Ladrillo 7E) ensayado

Fuente: Elaboración propia (2017).

Tabla 4.11: Resultados ensayos resistencia básica al corte

	Presión manómetro	Presión manómetro	Carga máxima	Carga máxima	Área de contacto	Resistencia máxima	Resistencia máxima
	PSI	N/mm2	N	Kgf	cm2	Kgf/cm2	Mpa
Mt1	1.800	12,41	120.034,78	12.240,08	1.272,2	9,62	0,94
Mt2	800	5,52	53.348,79	5.440,03	1.258,2	4,32	0,42
Mt3	1.600	11,03	106.697,54	10.880,07	1.252,6	8,69	0,85
Mt4	1.200	8,27	80.023,15	8.160,05	1.249,8	6,53	0,64
Mt5	1.200	8,27	80.023,15	8.160,05	1.258,2	6,49	0,64
Resistencia promedio							0,70
Resistencia máxima							0,94
Resistencia mínima							0,42
v: resistencia básica al corte							0,48
MT1	800	5,52	53.348,77	5.440,03	1.218,8	4,46	0,44
MT2	900	6,21	60.017,36	6.120,04	1.216,9	5,03	0,49
MT3	1.200	8,27	80.023,15	8.160,05	1.209,5	6,75	0,66
MT4	1.200	8,27	80.023,15	8.160,05	1.193,3	6,84	0,67
MT5	1.000	6,89	66.685,96	6.800,04	1.202,4	5,66	0,55
Resistencia promedio							0,56
Resistencia máxima							0,67
Resistencia mínima							0,44
v: resistencia básica al corte							0,46
Mr1	1.200	8,27	80.023,15	8.160,05	1.218,7	6,70	0,66
Mr2	1.000	6,89	66.685,96	6.800,04	1.214,4	5,60	0,55
Resistencia promedio							0,60
MR1	800	5,52	53.348,77	5.440,03	1.247,5	4,36	0,43
MR2	1.200	8,27	80.023,15	8.160,05	1.261,8	6,47	0,63
Resistencia promedio							0,53
Mn1	1.800	12,41	120.034,73	12.240,07	1.204,4	10,16	1,00
Mn2	1.800	12,41	120.034,73	12.240,07	1.180,2	10,37	1,02
Resistencia promedio							1,01
MN1	1.600	11,03	106.697,54	10.880,07	1.146,7	9,49	0,93
MN2	1.000	6,89	66.685,96	6.800,04	1.165,1	5,84	0,57
Resistencia promedio							0,75

Fuente: Elaboración propia (2017).

Donde:

Mt: Murete confeccionado con ladrillo 7E con rebaje triangular.

MT: Murete confeccionado con ladrillo 11E con rebaje triangular.

Mr: Murete confeccionado con ladrillo 7E con rebaje rectangular.

MR: Murete confeccionado con ladrillo 11E con rebaje rectangular.

Mn: Murete confeccionado con ladrillo 7E sin modificación.

MN: Murete confeccionado con ladrillo 11E sin modificación.

En la tabla 4.12 se muestran los resultados del ensayo de muretes, en donde el resultado del murete Mt2 se desvía de la tendencia de los valores, por lo que se decide eliminar este valor. En la tabla 4.13 se muestra la resistencia básica al corte corregida de los muretes confeccionados con ladrillos 7E con rebaje triangular.

Tabla 4.12: Resultado ensayo resistencia básica al corte (corregido).

	Presión manómetro	Presión manómetro	Carga máxima	Carga máxima	Área de contacto	Resistencia máxima	Resistencia máxima
	PSI	N/mm ²	N	Kgf	cm ²	Kgf/cm ²	Mpa
Mt1	1.800	12,41	120.034,78	12.240,08	1.272,2	9,62	0,94
Mt2							
Mt3	1.600	11,03	106.697,54	10.880,07	1.252,6	8,69	0,85
Mt4	1.200	8,27	80.023,15	8.160,05	1.249,8	6,53	0,64
Mt5	1.200	8,27	80.023,15	8.160,05	1.258,2	6,49	0,64
Resistencia promedio							0,77
Resistencia máxima							0,94
Resistencia mínima							0,64
v: resistencia básica al corte							0,64

Fuente: Elaboración propia (2017).

4.5 Ensayo de permeabilidad (Tubo Karsten)

Para obtener la permeabilidad de los muros de albañilería con los ladrillos propuestos, se confeccionaron dos muretes, uno construidos con ladrillos 7E sin modificar y otro con ladrillos 7E con rebaje triangular. El ensayo se realizó en diferentes lugares de los muretes, por ejemplo: en el tendel, en la llaga y en las interacciones de llaga/tendel.



Figura 4.18: Ensayo Tubo Karsten

Fuente: Elaboración propia (2017).

En la tabla 4.14 se muestran los resultados de 3 puntos ensayados en el murete con tendel. Para el caso de los muretes sin tendel, no se llevaron los resultados a una tabla, ya que el agua no permanecía en el tubo, si no que descendía al instante. La tabla señalada anteriormente se debe comparar con la tabla 4.15, para obtener la permeabilidad del muro.

Tabla 4.13: Resultado ensayo de permeabilidad

Murete con ladrillos 7E sin modificar					
Punto A		Punto B		Punto C	
Tiempo (min)	Altura columna de agua (cm)	Tiempo (min)	Altura columna de agua (cm)	Tiempo (min)	Altura columna de agua (cm)
0	5	0	5	0	5
1	5	1	5	1	5
5	4,8	5	4,7	5	4,8
10	4	10	3,7	10	4,1
20	0	20	0	20	0

Fuente: Elaboración propia (2017).

Tabla 4.14: Grado de permeabilidad en función de penetración de agua en diez minutos.

Penetración en cm ³ en diez minutos	Estimación
Más de 3.0	Permeabilidad muy Alta
De 2.4 a 3.0	Permeabilidad Alta
De 1.0 a 2.4	Mediana Permeabilidad
De 0.4 a 1.0	Baja Permeabilidad
De 0.2 a 0.4	Impermeabilidad Relativa
De 0.1 a 0.2	Impermeable
Menos de 0.1	Sin Actividad Capilar

Fuente: Ensayo de permeabilidad tubo Karsten.

5. Análisis de resultado de los ensayos

5.1 Ensayo de unidades

5.1.1 Resistencia a la compresión

Para el caso de la resistencia a la compresión debemos analizar dos factores: uno es la resistencia a máxima a la compresión y otro es la carga máxima que soportan los ladrillos. En la tabla 4.1 podemos decir que los ladrillos con rebaje tanto rectangular como triangular poseen una mejor resistencia a la compresión, ya sea el ladrillo 7E con un 8,06% más, y el ladrillo 11E con un 14,5% más, sin embargo, en la tabla 5.1 se observa que los ladrillos con rebaje resisten menos, hasta un 19,7% menos de carga que los ladrillos sin modificar. El hecho que los ladrillos modificados posean mayor resistencia a la compresión, pero menor carga máxima, se debe a que el área de contacto en los ladrillos modificados es mayor a la de los ladrillos normales. En la norma NCh167.Of2001 especifica que la superficie de cálculo es la media de las superficies de contacto, que en este caso corresponde al promedio de las caras perforadas (sin descontar las perforaciones) y en el caso de los ladrillos con rebaje la superficie de contacto es menor como lo muestra la tabla 5.2.

Tabla 5.1: Carga máxima promedio ensayo a la compresión

Ensayos	LADRILLO					
	Ladrillo Normal		Ladrillo con rebaje Triangular		Ladrillo con rebaje Rectangular	
	7E	11E	7E	11E	7E	11E
Carga máxima (N)	504.163	447.226	433.797	408.456	459.975	399.678

Fuente: Elaboración propia (2017).

Tabla 5.2: Superficie promedio del área de contacto de los ladrillos

	Área real promedio (mm ²)
Ladrillo normal	40.600
Ladrillo Triangular	32.480
Ladrillo rectangular	32.480

Fuente: Elaboración propia (2017).

Para los ladrillos normales, al momento en que se iba alcanzando la carga máxima, la falla se producía en las dos caras del ladrillo, que corresponde a las secciones no perforadas de mayor superficie (conocida también como canto). Las caras del ladrillo se trisaban y luego reventaban por la carga aplicada, este mismo efecto se presentó en los ladrillos modificados, lo que da a entender que la forma de rotura es la misma y la falla se produce de igual manera. Esta forma de rotura se muestra en la figura 4.2.

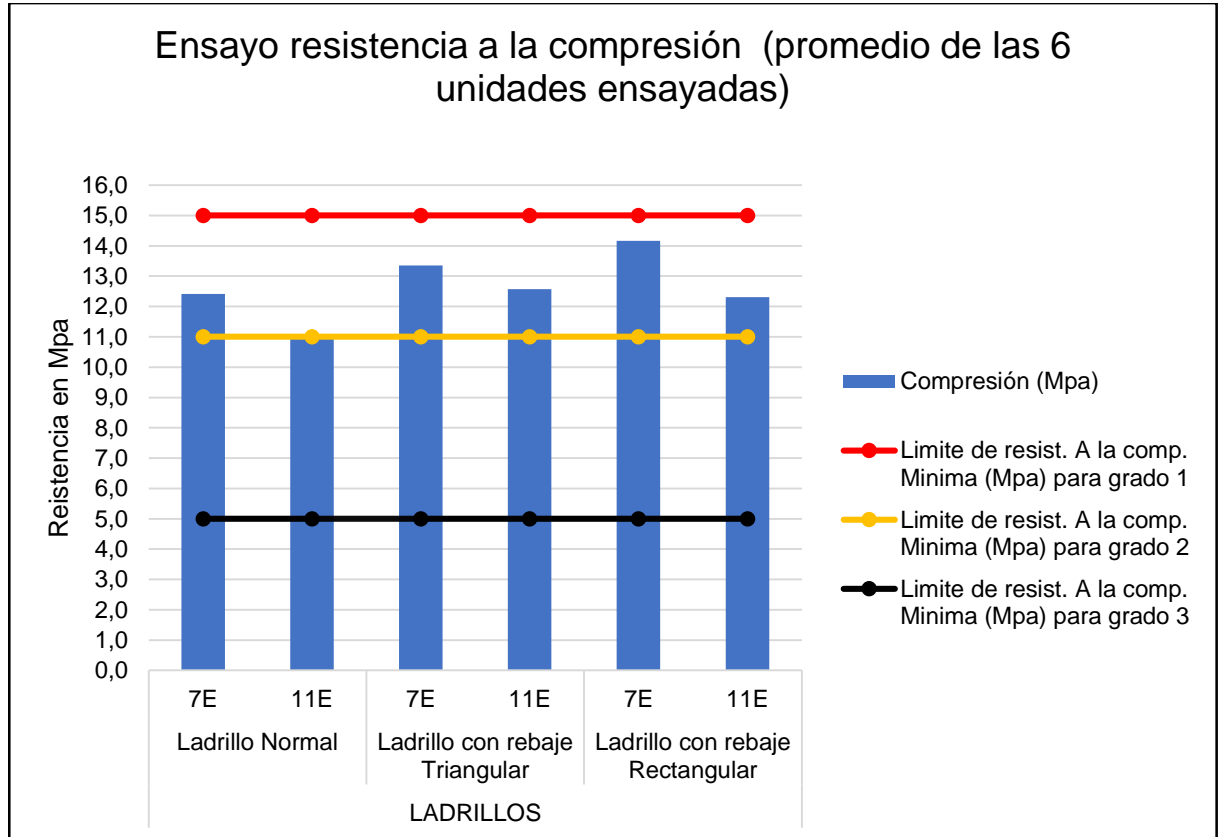


Figura 5.1: Grafico del promedio de las unidades ensayadas a la resistencia a la compresión.
Fuente: Elaboración propia (2017).

Para los 6 casos que se presentan en el gráfico de la figura 5.1, se muestra que ninguno de los ladrillos sobrepasó el límite de resistencia a la compresión para grado 1. No obstante, todos los promedios obtenidos cumplen con las exigencias de la norma para que los ladrillos sean utilizados para construir muros de albañilería, sobrepasando el límite de resistencia a la compresión para grado 2.

5.1.2 Ensayo de absorción

En el ensayo de absorción, se obtuvo que el rebaje que se le realiza al ladrillo, aumenta el porcentaje de absorción de agua del ladrillo como se muestra en la tabla 5.3 tanto para los ladrillos 7E y 11E con rebaje triangular y rectangular, esto genera que los ladrillos absorberán más agua del mortero. Sin embargo, respecto de los resultados obtenidos, estos se encuentran dentro de los parámetros de grado 1, según NCh 169 Of.2001. por lo que sigue teniendo una absorción aceptable para su uso.

Tabla 5.3: Absorción promedio de las probetas ensayadas

Ensayos	LADRILLO					
	Ladrillo Normal		Ladrillo con rebaje triangular		Ladrillo con rebaje rectangular	
	7	11	7	11	7	11
Absorción	9,85%	11,08%	10,33%	11,18%	10,24%	11,09%

Fuente: Elaboración propia (2017).

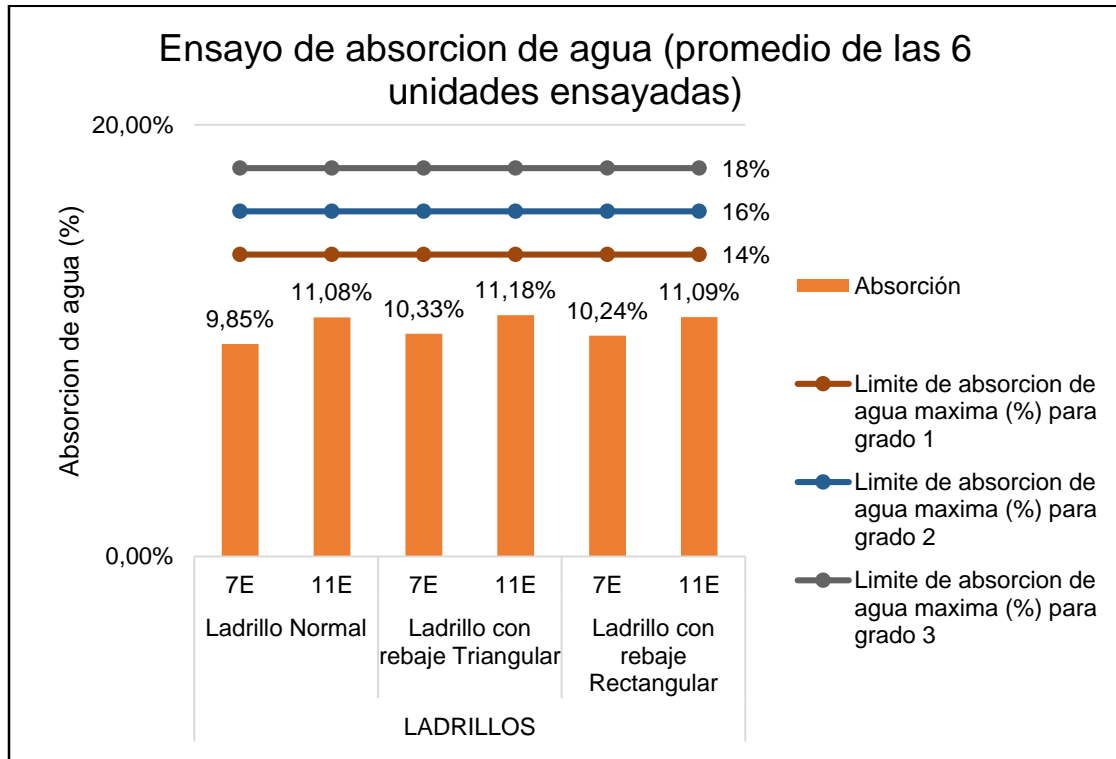


Figura 5.2: Gráfico del promedio de las unidades ensayadas a la absorción.

Fuente: Elaboración propia (2017).

En el gráfico de la figura 5.2 se muestra que el promedio de la absorción de los ladrillos cumple con los especificado de la NCh 169, estando todos los ensayos bajo el límite para grado 1. El hecho de que los ladrillos con rebaje tengan una mayor absorción que los ladrillos normales, puede ser debido a que al realizar el rebaje se aumenta la superficie de contacto del ladrillo, además, en la zona donde se realiza el rebaje, queda con una porosidad mayor, ya que el normalmente la superficie del ladrillo queda con una especie de "capa" que al tacto y a la vista es menos porosa.

5.1.3 Adherencia de cizalle

En el caso de los resultados del ensayo de adherencia de cizalle sucede algo similar a lo que ocurre con los ensayos de resistencia a la compresión. En la tabla 4.3 se puede ver los ladrillos con rebajes poseen una adherencia mayor que la de los ladrillos normales, siendo el ladrillo con rebaje triangular el que obtiene la mejor adherencia con un 70% mayor. Pero en la tabla 5.4 se puede observar que la carga máxima tolerada por los ladrillos modificados es menor en un 17,8% a la de los ladrillos normales, esto se debe a que la superficie de contacto es menor en las probetas confeccionadas con los ladrillos modificados, como se muestra en la tabla 5.5. En el gráfico de la figura 5.3 se muestran los promedios de las probetas ensayadas y los límites para identificar el grado de los ladrillos según la adherencia.

Tabla 5.4: Carga máxima promedio ensayo de adherencia de cizalle

Ensayos	LADRILLO					
	Ladrillo Normal		Ladrillo con rebaje Triangular		Ladrillo con rebaje Rectangular	
	7E	11E	7E	11E	7E	11E
Carga max. (N)	20.283	30.973	16.671	23.373	15.527	21.329

Fuente: Elaboración propia (2017).

Tabla 5.5: Superficies de contacto de los ladrillos

	Superficie promedio (mm ²)
Ladrillo normal	40.600
Ladrillo con rebaje Triangular	19.720
Ladrillo Con rebaje rectangular	23.490

Fuente: Elaboración propia (2017).

Otra medida a considerar en el ensayo de adherencia de cizalle es la desviación estándar de la carga máxima admisible por las 6 probetas, las que se encuentran en la tabla 5.6 donde se muestra que en los ladrillos 7E se produce una desviación estándar menor que la de los ladrillos 11E. Además, los ladrillos 7E con rebaje triangular y rectangular tienen una desviación estándar menor, de lo que se puede decir que los ladrillos con rebaje se comportan de manera más uniforme.

Tabla 5.6: Desviación estándar de la carga máx. admisible de adherencia

Ensayos	LADRILLO					
	Ladrillo Normal		Ladrillo con rebaje Triangular		Ladrillo con rebaje Rectangular	
	7E	11E	7E	11E	7E	11E
Desviación estándar	4.728	5.481	1.240	5.457	2.887	4.731

Fuente: Elaboración propia (2017).

Para el caso de las probetas confeccionadas con ladrillos sin modificar, al momento de la rotura la falla se presentó en el mortero, lo cual es esperado para este tipo de ensayo. En el caso de las probetas confeccionadas con ladrillos modificados, al momento de la rotura la falla se presentó en los dos ladrillos extremos, lo que da a entender que teniendo el mortero de pega incorporado en el rebaje tanto triangular como rectangular, se generan una especie de "traba" entre los ladrillos y el mortero, la

cual genera mayor tensión entre las perforaciones del ladrillo haciendo que la falla se produzca en el ladrillo, lo que puede explicar que la carga soportada sea menor (la resistencia del mortero se encuentra en el Anexo B, Tabla 8.24).

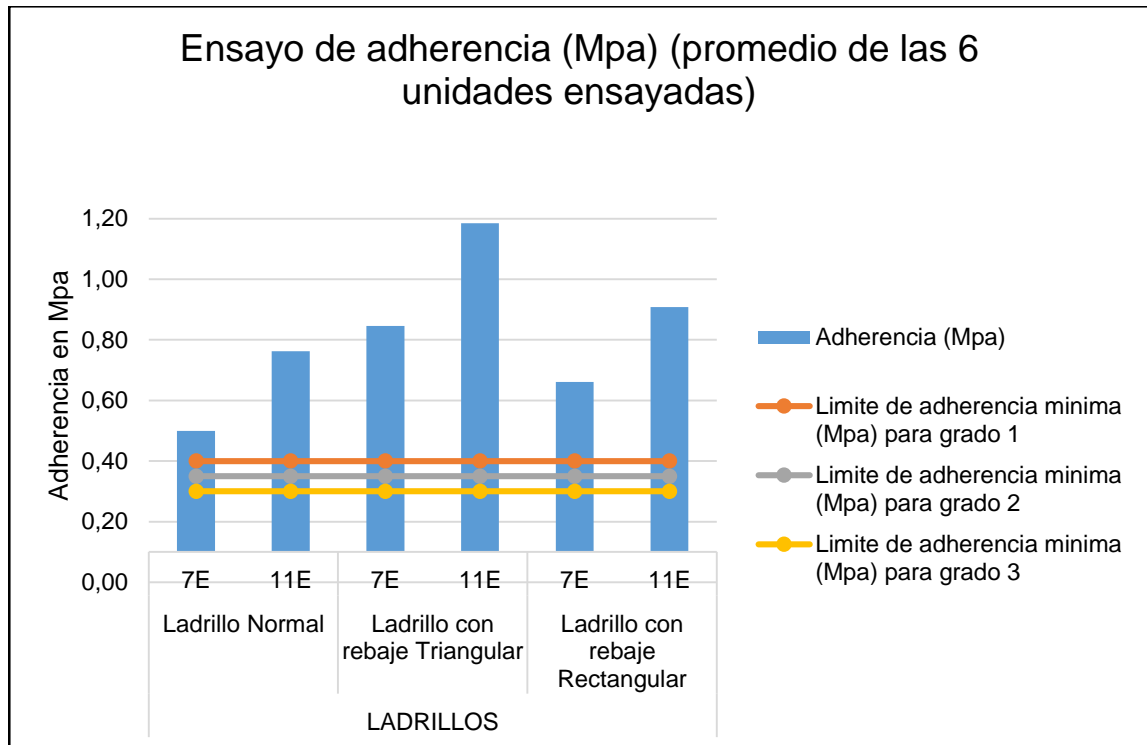


Figura 5.3: Gráfico del promedio de las probetas ensayadas a la adherencia.
Fuente: Elaboración propia (2017).

5.2 Grado de los ladrillos modificados

Finalmente, verificando los datos de los ensayos, se dice que los ladrillos modificados y normales poseen grado 2, la tabla 5.7 muestra los grados por cada ensayo, en donde todos los ladrillos son de grado 2, ya que el ensayo de compresión es menor a 15 MPa. En 1.5.3 se dijo que se realizarían los ensayos de prisma y murete con los ladrillos de mejor grado, pero en vista que los ladrillos con rebaje triangular y rectangular dieron grado 2, se optara por realizar los ensayos con unidades con rebaje triangular y rectangular, para así tener una evaluación más amplia de lo que se quiere lograr.

En el Anexo B se encuentran las tablas con todos los resultados de todas las probetas de los ensayos de las unidades.

Para determinar el grado de los ladrillos, se compara los valores de la tabla 4.4 con la tabla 2.1.

Tabla 5.7: Grado de los ladrillos.

		LADRILLO					
		Ladrillo Normal		Ladrillo con rebaje Triangular		Ladrillo con rebaje Rectangular	
		7	11	7	11	7	11
GRADO	Compresión (Mpa)	2	2	2	2	2	2
	Absorción	1	1	1	1	1	1
	Adherencia (Mpa)	1	1	1	1	1	1

Fuente: Elaboración propia (2017).

5.3 Ensayo prisma

Tabla 5.8: Carga y resistencia máxima a la compresión promedio

	Carga máxima promedio (N)	Resistencia básica compresión promedio en (Mpa)	Módulo de elasticidad
Pt	173.384	6,83	6835
PT	243.404	9,54	9543
Pr	166.715	7,47	7466
PR	186.721	8,28	8279
Pn	276.747	12,35	12347
PN	233.401	10,37	10375

Fuente: Elaboración propia (2017).

Donde:

Pt: prisma confeccionado con ladrillo 7E con rebaje triangular.

PT: prisma confeccionado con ladrillo 11E con rebaje triangular.

Pr: prisma confeccionado con ladrillo 7E con rebaje rectangular.

PR: prisma confeccionado con ladrillo 11E con rebaje rectangular.

Pn: prisma confeccionado con ladrillo 7E sin modificación.

PN: prisma confeccionado con ladrillo 11E sin modificación.

De la tabla 5.8, los prismas fabricados con ladrillos sin modificar 7E (Pt y Pr) soportaron hasta un 60,2% menos de carga promedio que los prismas fabricados con ladrillos normales (Pn). En el caso de los prismas confeccionados con ladrillos modificados 11E, el resultado de la carga promedio de los prismas PT fue un 4,3% mayor carga promedio de los prismas PN. Sin embargo, la resistencia básica a la compresión promedio fue mayor en los prismas Pn y PN como se muestra en el gráfico de la figura 5.5, esto debido a que el área de contacto promedio de los prismas fabricados con ladrillos modificados es menor, como se muestra en la tabla 4.6.

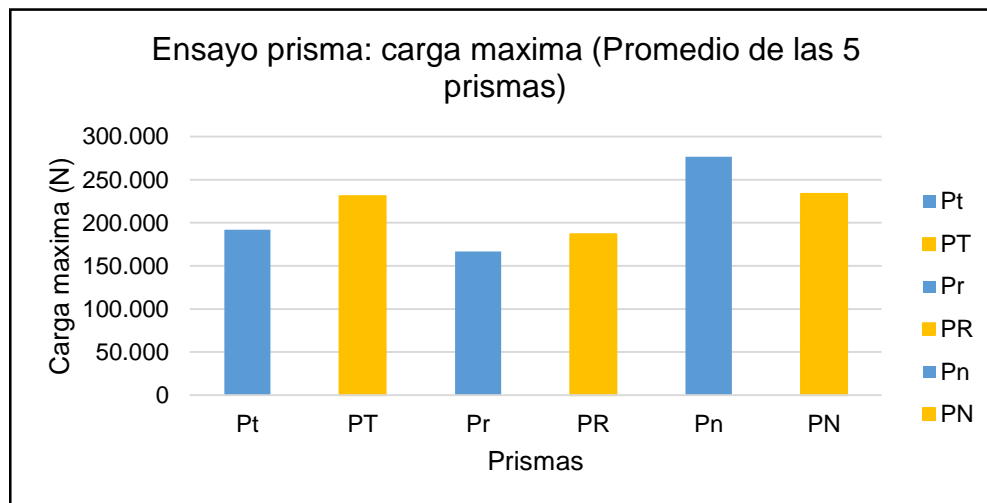


Figura 5.4: Gráfico: Ensayo prisma – carga máxima.

Fuente: Elaboración propia (2017).

En todos los prismas ensayados la falla se produjo en los ladrillos al momento de la rotura, esto debido a que el mortero fue dosificado para 15 (Mpa) según lo indica la norma, mientras la resistencia a la compresión de los ladrillos varía entre 11 y 14 (Mpa). Debido a esto los prismas fallaron en el material más débil.

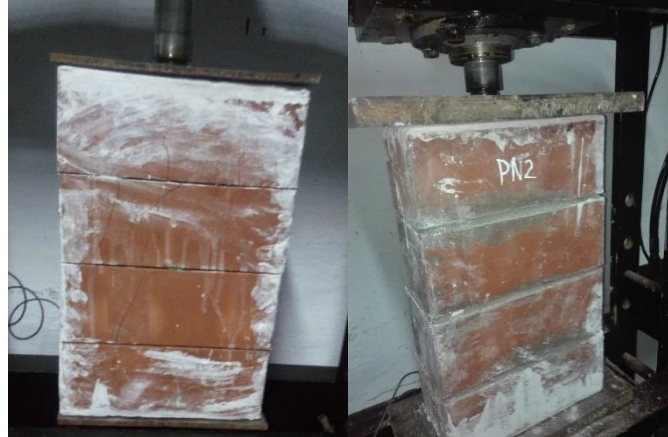


Figura 5.5: Prisma confeccionado con ladrillos con rebaje triangular (izquierda) y prisma confeccionado con ladrillos sin modificar (derecha).

Fuente: Elaboración propia (2017).

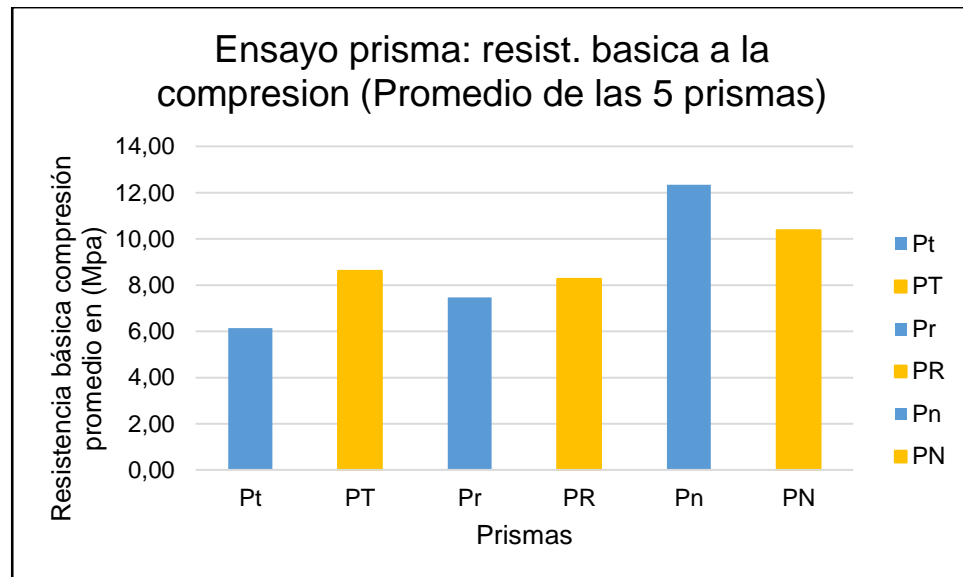


Figura 5.6: Grafico: Ensayo prisma – Resistencia básica a la compresión.

Fuente: Elaboración propia (2017).

5.4 Ensayo de murete

Tabla 5.9: Carga y resistencia máxima promedio al corte.

	Carga máxima promedio (N)	Resistencia Básica corte promedio en (Mpa)
Mt	9.860	0,64
MT	6.936	0,46
Mr	7.480	0,60
MR	6.800	0,53
Mn	12.240	1,01
MN	8.840	0,75

Fuente: Elaboración propia (2017).

Donde:

Mt: Murete confeccionado con ladrillo 7E con rebaje triangular.

MT: Murete confeccionado con ladrillo 11E con rebaje triangular.

Mr: Murete confeccionado con ladrillo 7E con rebaje rectangular.

MR: Murete confeccionado con ladrillo 11E con rebaje rectangular.

Mn: Murete confeccionado con ladrillo 7E sin modificación.

MN: Murete confeccionado con ladrillo 11E sin modificación.

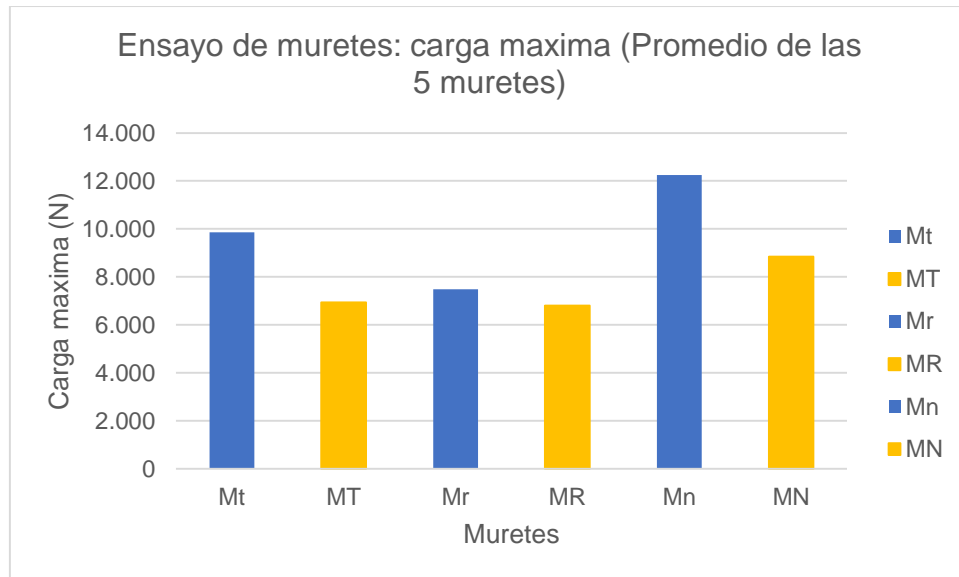


Figura 5.7: Grafico: Ensayo de muretes - carga máxima.

Fuente: Elaboración propia (2017).

El promedio de los resultados de los muretes Mn fue mayor al promedio de los resultados de los muretes Mt y Mr hasta en un 38,9%, mientras para el caso de los muretes fabricados con ladrillos 11E (MN), estos soportaron mayor carga hasta en un 23,1% que los prismas MT y MR.

Para el caso de la resistencia básica al corte, que se presenta en el gráfico de la figura 5.9, se obtuvo que los muretes confeccionados con los ladrillos normales (Mn y MN), estos soportaron mayor carga, un 40% más de carga para el caso de los muretes construidos con ladrillos 7E y un 38,7% en el caso de los muretes construidos con ladrillos 11E.

En todos los muretes el corte se produjo aproximadamente en el eje diagonal, fallando en la unión entre el mortero y el ladrillo, provocando roturas en los ladrillos y en la llaga.

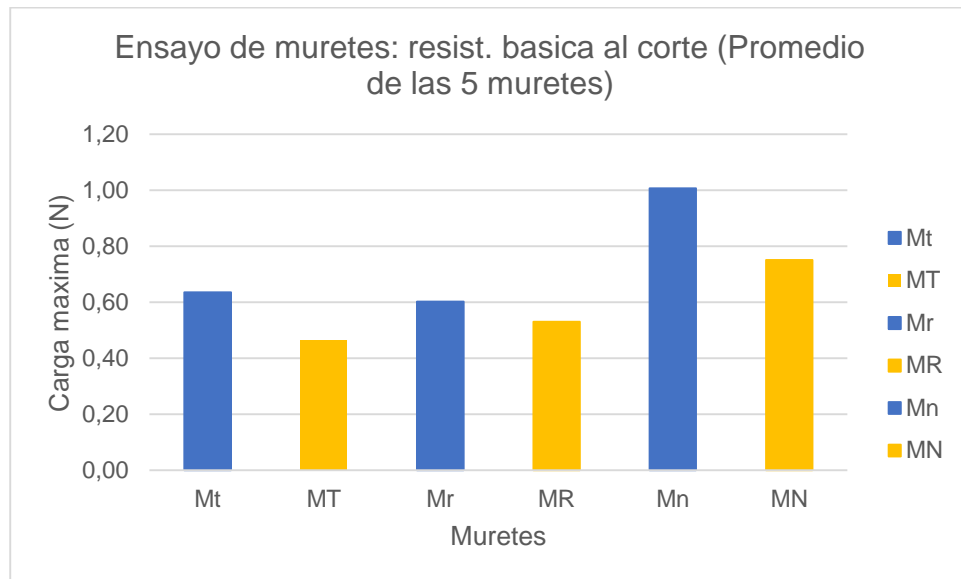


Figura 5.8: Gráfico: Ensayo de muretes – resistencia básica al corte.

Fuente: Elaboración propia (2017).

5.5 Ensayo de permeabilidad

De los datos obtenidos que se muestran en la tabla 4.13, se obtiene que los muretes con tendel (confeccionados con ladrillos sin modificar), poseen una mediana permeabilidad, según lo indica la tabla 4.14. Para el caso de los muretes sin tendel, estos son poseen una alta permeabilidad, ya que el agua bajaba en menos de un minuto en el tubo, esto debido a que entre las hiladas no hay mortero a la vista, haciendo que el agua del tubo baje por las perforaciones de los ladrillos. Cabe señalar que, al momento de ensayar los muretes sin tendel, el agua que se vertía en el tubo afloraba por la parte inferior del murete y no se vio la presencia de agua en el lado opuesto del muro, en este caso no se vio que el agua traspase el mure.

5.6 Análisis dimensional de los muros

Otro factor que se tomó en cuenta es las dimensiones de los muros sin tendel, ya que los ladrillos quedan en contacto y no todos los ladrillos tienen la misma medida, tendiendo variaciones milimétricas unos con otros. Para esto se midieron los muretes confeccionados con los ladrillos modificados y se obtuvieron medidas de muros con tendel ya construidos en diferentes casas de la comuna de Quilpué.

Para hacer este análisis se midió la altura de todas las caras de los muretes, para luego obtener la desviación estándar de estas medidas y comparar con la desviación estándar de las medidas de los muros en donde se midieron 7 hiladas.

Finalmente, de la tabla 5.10 se entiende que, a pesar de las imperfecciones de los ladrillos, esto no genera problema que los ladrillos queden en contacto, ya que los muretes construidos con los ladrillos propuestos poseen una desviación estándar menor que la obtenida en los muros de albañilería con tendel.

Tabla 5.10: Desviación estándar de las medidas de los muros de albañilería (izquierda) y de los muretes sin tendel (Derecha).

Medidas de muros con tendel (7 hiladas)		Medidas de muretes sin tendel (9 hiladas)	
Medidas	(cm)	Medidas	(cm)
A	60,5	A	67,8
B	61,1	B	67,8
C	60,2	C	67,7
D	60,4	D	67,7
E	60,4	E	68,1
F	61	F	68,1
G	60,9	G	67,9
H	60,5	H	67,8
I	60,4	I	67,7
J	60,4	J	67,5
K	61,1	K	67,5
L	60,5	L	67,3
M	60,8	M	68
N	60,5	N	68
Ñ	61,2	Ñ	68,2
O	61	O	68,2
P	60,6	P	68
Q	60,5	Q	68
R	61	R	68,3
S	60,7	S	68,4
T	60,6	T	67,6
U	60,1	U	68
V	60,1	V	67,8
W	61	W	68
X	60,5	X	68,3
Y	60,5	Y	68
Z	60,8	Z	68
Desviación estándar	0,312	Desviación estándar	0,266

Fuente: Elaboración propia (2017).

5.7 Análisis de costos

Para realizar el análisis de costos, se llevó a cabo el presupuesto de un muro de 2 metros de altura y 3 metros de ancho (6 metros cuadrados). Esto se realizó con los 6 tipos de ladrillos: Ladrillo 7E y 11E normal, ladrillo 7E y 11E con rebaje triangular y ladrillo 7E y 11E con rebaje rectangular. Se debe señalar que para los 6 metros cuadrados de muro de albañilería se consideraron para muros de tabiquería, por lo que se especifica un estuco de mortero por ambas caras de 1 centímetro de espesor.

Primero se cubicaron los materiales utilizados para 6 metros cuadrados de albañilería, tanto para albañilería con tendel y sin tendel. Los valores de los materiales son referencia de la página web de Homecenter Sodimac. En la tabla 5.11 y 5.12 se muestran los valores del metro cúbico de mortero utilizado para albañilería con tendel y albañilería sin tendel respectivamente.

Tabla 5.11: Precio unitario (m³) de mortero con tamaño máximo 2,5 milímetros

PU mortero Dmax 2,5 mm				
Materiales	Cantidad	Unidad	Valor de adquisición S/IVA (\$)	\$/m3
Arena fina Saco 40 kg	7,00	Un	697	4.876
Cemento Melón especial 25 Kg	19	Un	2.908	55.250
Agua	272,67	lt	0,729	199
Arena gruesa saco 40 kg	28,00	Un	697	19.505
				67.084

Fuente: Elaboración propia (2017).

Tabla 5.12: Precio unitario (m³) de mortero con tamaño máximo 1,25 milímetro

PU mortero Dmax 1,25 mm				
Materiales	Cantidad	Unidad	Valor de adquisición S/IVA (\$)	\$/m3
Arena fina saco 40kg	24,00	Un	697	16.718
Cemento Melón especial 25 Kg	23	Un	2.908	66.882
Agua	395,76	lt	0,729	289
Arena gruesa saco 40kg	0	Un	697	0
				70.495

Fuente: Elaboración propia (2017).

Para el caso de los 6 metros cuadrados de albañilería con tendel se consideraron los siguientes materiales:

- Ladrillo Santiago súper 7 (11E) (Con disposición tipo Soga).
- Mortero Dmax 2,5 mm. (e=1 cm. De cantería horizontal y vertical).
- Mortero de estuco (e=1cm.).
- Escalerilla Acma 8,5 cm. x 5 mt.

Para el caso de los 6 metros cuadrados de albañilería sin tendel se consideraron los siguientes materiales:

- Ladrillo Santiago súper 7 (Con disposición tipo Soga).
- Mortero Dmax 2,5 mm. (e=1 cm. De cantería horizontal y vertical).
- Mortero de estuco (e=1cm.).
- Armadura fi 8 (6 mt.)

En los muros sin tendel, se propone reemplazar la escalerilla arma por una armadura con 8 centímetros de diámetro, esta propuesta se presenta en el Anexo F del presente documento.

Para el caso de la mano de obra se consideran 1 maestro albañil y medio ayudante para todos los casos. Para elaborar el costo y rendimiento de la mano de obra se tomó como referencia los valores del Manual de precios Ondac, 2017. Para el caso del rendimiento de la mano de obra de los muros de albañilería sin tendel, se tomó como rendimiento el indicado por el Manual del Ondac más un cincuenta por ciento, esto último se establece como hipótesis la cual puede ser verificada en futuras investigaciones, lo anteriormente señalado se sustenta en la experiencia realizada al elaborar los muretes, en donde la construcción de los muretes sin tendel se realizó en al menos la mitad de tiempo en que se confeccionaron los muretes con ladrillos normales, de esta manera se entiende que la velocidad de avance en altura es mayor en los muros sin tendel.

Se incluyeron en el presupuesto de los 6 metros cuadrados de albañilería, la maquinaria y las herramientas, que son las siguientes:

- Trompo eléctrico 150 litros.
- Llana de acero 300x180 mm.
- Pala concretara de acero.
- Carretilla acero 90 litros.
- Plana lengüeta metal.
- Nivel aluminio 24".
- Plomada 225gr.
- Huincha para medir 8 mt.

5.7.1 Presupuesto: muro construido con ladrillos 7E

En las tablas a continuación, se muestran los presupuestos realizados para el muro de 6 metros cuadrados construidos con ladrillos 7E con tendel y sin tendel. Además, se incluye el valor del metro cuadrado de muro de albañilería.

Tabla 5.13: Presupuesto muro de albañilería construido con ladrillo 7E sin modificar

MURO DE ALBAÑILERIA e=14 CMS. 29X14X7,1 DE SOGA, LADRILLO 7E SIN MODIFICAR					
Maquinaria y herramientas					
Tipo de maquinaria y capacidad	Cantidad	Valor de adquisición			Total
Trompo eléctrico 150 litros (arriendo/día)	2	5.176			10.352
Llana acero 300x180mm	2	4.852			9.704
Pala concretera acero	1	9.307			9.307
Carretilla acero 90 litros	1	22.672			22.672
Plana lengüeta metal	2	1.774			3.548
Nivel aluminio 24"	1	5.824			5.824
Plomada 225gr	1	5.986			5.986
Huinchita para medir 8 m	1	9.469			9.469
					76.861
Materiales					
Materiales	Cantidad	Unidad	Valor de adquisición	Total	
Ladrillo Santiago súper 7	250	Un	203	50.750	
Mortero Dmax 2,5 mm, e=1 cm	0,323	M3	67.084	21.690	
Mortero de estuco, e=1 cm	0,120	M3	91.026	10.923	
Escalerilla Acma 8,5 cm x 5 m	8	Un	1.288	10.303	
					93.667
Mano de obra					
Faena	Cantidad	Meses	\$/mes	L. sociales	Total
Albañil	1	1	650.000	975.000	48.750
Ayudante	0,5	1	375.000	562.500	14.063
					62.813
Costo directo					Total
6 metros cuadrados					233.340
1 metro cuadrado					38.890

Fuente: Elaboración propia (2017).

Tabla 5.14: Presupuesto muro de albañilería construido con ladrillo 7E con rebaje triangular

ALBAÑILERIA SIN TENDEL e=14 CMS. 29X14X7,1 DE SOGA CON REBAJE TRIANGULAR					
Maquinaria y herramientas					
Tipo de maquinaria y capacidad	Cantidad		Valor de adquisición		Total
Trompo eléctrico 150 litros (arriendo/día)	1		5.176		5.176
Llana acero 300x180mm	2		4.852		9.704
Pala concretera acero	1		9.307		9.307
Carretilla acero 90 litros	1		22.672		22.672
Plana lengüeta metal	2		1.774		3.548
Nivel aluminio 24"	1		5.824		5.824
Plomada 225gr	1		5.986		5.986
Huinchas para medir 8 m	1		9.469		9.469
					71.685
Materiales					
Materiales	Cantidad	Unidad	Valor de adquisición		Total
Ladrillo Santiago súper 7	280	Un	203		56.840
Mortero Dmax 1,25 mm, e=1 cm	0,200	M3	70.495		14.105
Mortero de estuco, e=1 cm	0,120	M3	91.026		10.923
Armadura fi 8 (6 m)	6	Un	1.288		7.727
					89.596
Mano de obra					
Faena	Cantidad	Meses	\$/mes	L. sociales	Total
Albañil	1	1	650.000	975.000	29.250
Ayudante	0,5	1	375.000	562.500	8.438
					37.688
Costo directo					
	Total				
6 metros cuadrados	198.968				
1 metro cuadrado	33.161				

Fuente: Elaboración propia (2017).

Tabla 5.15: Presupuesto muro de albañilería construido con ladrillo 7E con rebaje rectangular

ALBAÑILERIA SIN TENDEL e=14 CMS. 29X14X7,1 DE SOGA CON REBAJE RECTANGULAR					
Maquinaria y herramientas					
Tipo de maquinaria y capacidad	Cantidad	Valor de adquisición			Total
Trompo eléctrico 150 litros (arriendo/día)	1	5.176			5.176
Llana acero 300x180mm	2	4.852			9.704
Pala concretera acero	1	9.307			9.307
Carretilla acero 90 litros	1	22.672			22.672
Plana lengüeta metal	2	1.774			3.548
Nivel aluminio 24"	1	5.824			5.824
Plomada 225gr	1	5.986			5.986
Huinchita para medir 8 m	1	9.469			9.469
					71.685
Materiales					
Materiales	Cantidad	Unidad	Valor de adquisición	Total	
Ladrillo Santiago súper 7	280	Un	203	56.840	
Mortero Dmax 1,25 mm, e=1 cm	0,295	M3	70.495	20.811	
Mortero de estuco, e=1 cm	0,120	M3	91.026	10.923	
Armadura fi 8 (6 m)	6	Un	1.288	7.727	
					96.301
Mano de obra					
Faena	Numero	Meses	\$/mes	L. sociales	Total
Albañil	1	1	650.000	975.000	29.250
Ayudante	0,5	1	375.000	562.500	8.438
					37.688
Costo directo					
Total					
6 metros cuadrados					205.674
1 metro cuadrado					34.279

Fuente: Elaboración propia (2017).

5.7.2 Presupuesto: muros construidos con ladrillos 11E

En las tablas a continuación, se muestran los presupuestos realizados para el muro de 6 metros cuadrados construidos con ladrillos 11E con tendel y sin tendel. Además, se incluye el valor del metro cuadrado de muro de albañilería.

Tabla 5.16: Presupuesto muro de albañilería construido con ladrillo 11E sin modificar

ALBAÑILERIA e=14 CMS. 29X14X11,3 DE SOGA					
Maquinaria y herramientas					
Tipo de maquinaria y capacidad	Cantidad		Valor de adquisición		Total
Trompo eléctrico 150 litros (arriendo/día)	2		5.176		10.352
Llana acero 300x180mm	2		4.852		9.704
Pala concretera acero	1		9.307		9.307
Carretilla acero 90 litros	1		22.672		22.672
Plana lengüeta metal	2		1.774		3.548
Nivel aluminio 24"	1		5.824		5.824
Plomada 225gr	1		5.986		5.986
Huincha para medir 8 m	1		9.469		9.469
					76.861
Materiales					
Materiales	Cantidad	Unidad	Valor de adquisición		Total
Ladrillo Santiago súper 11	170	Un	454		77.112
Mortero Dmax 2,5 mm, e=1 cm	0,220	M3	67.084		14.758
Mortero de estuco, e=1 cm	0,120	M3	91.026		10.923
Escalerilla Acma 8,5 cm x 5 m	6	Un	1.288		7.727
					110.521
Mano de obra					
Faena	Cantidad	Meses	\$/mes	L. sociales	Total
Albañil	1	1	650.000	975.000	41.786
Ayudante	0,5	1	375.000	562.500	12.054
					53.839
Costo directo					
	Total				
6 metros cuadrados	241.221				
1 metro cuadrado	40.204				

Fuente: Elaboración propia (2017).

Tabla 5.17: Presupuesto muro de albañilería construido con ladrillo 11E con rebaje triangular

ALBAÑILERIA SIN TENDEL e=14 CMS. 29X14X11,3 DE SOGA CON REBAJE TRIANGULAR					
Maquinaria y herramientas					
Tipo de maquinaria y capacidad	Cantidad		Valor de adquisición		Total
Trompo eléctrico 150 litros (arriendo/día)	1		5.176		5.176
Llana acero 300x180mm	2		4.852		9.704
Pala concretera acero	1		9.307		9.307
Carretilla acero 90 litros	1		22.672		22.672
Plana lengüeta metal	2		1.774		3.548
Nivel aluminio 24"	1		5.824		5.824
Plomada 225gr	1		5.986		5.986
Huinchita para medir 8 m	1		9.469		9.469
					71.685
Materiales					
Materiales	Cantidad	Unidad	Valor de adquisición		Total
Ladrillo Santiago súper 11	180	Un	454		81.648
Mortero Dmax 1,25 mm, e=1 cm	0,154	M3	70.495		10.847
Mortero de estuco, e=1 cm	0,120	M3	91.026		10.923
Armadura fi 8 (6 m)	4	Un	1.288		5.152
					108.570
Mano de obra					
Faena	Cantidad	Meses	\$/mes	L. sociales	Total
Albañil	1	1	650.000	975.000	26.591
Ayudante	0,5	1	375.000	562.500	7.670
					34.261
Costo directo					
	Total				
6 metros cuadrados	214.516				
1 metro cuadrado	35.753				

Fuente: Elaboración propia (2017).

Tabla 5.18: Presupuesto muro de albañilería construido con ladrillo 11E con rebaje rectangular

ALBAÑILERIA SIN TENDEL e=14 CMS. 29X14X11,3 DE SOGA CON REBAJE RECTANGULAR					
Maquinaria y herramientas					
Tipo de maquinaria y capacidad	Cantidad		Valor de adquisición		Total
Trompo eléctrico 150 litros (arriendo/día)	1		5.176		5.176
Llana acero 300x180mm	2		4.852		9.704
Pala concretera acero	1		9.307		9.307
Carretilla acero 90 litros	1		22.672		22.672
Plana lengüeta metal	2		1.774		3.548
Nivel aluminio 24"	1		5.824		5.824
Plomada 225gr	1		5.986		5.986
Huinchita para medir 8 m	1		9.469		9.469
					71.685
Materiales					
Materiales	Cantidad	Unidad	Valor de adquisición		Total
Ladrillo Santiago súper 11	180	Un	454		81.648
Mortero Dmax 1,25 mm, e=1 cm	0,214	M3	70.495		15.067
Mortero de estuco, e=1 cm	0,120	M3	91.026		10.923
Armadura fi 8 (6 m)	4	Un	1.288		5.152
					112.790
Mano de obra					
Faena	Cantidad	Meses	\$/mes	L. sociales	Total
Albañil	1	1	650.000	975.000	26.591
Ayudante	0,5	1	375.000	562.500	7.670
					34.261
Costo directo					
	Total				
6 metros cuadrados	218.736				
1 metro cuadrado	36.456				

Fuente: Elaboración propia (2017).

5.7.3 Comparación de valores de presupuesto

Como se señaló anteriormente, el presupuesto se hizo en base a muros de tabiquería en los cuales no se aplican cargas estructurales verticales. En la tabla 5.19 se muestra un resumen de los presupuestos realizados para muros de albañilería y además, se muestran el presupuesto de un muro de tabiquería de metalcon y de madera, estos presupuestos se encuentran en el Anexo E del presente documento.

Tabla 5.19: Tabla resumen de presupuesto

N°	ITEM	6 metros cuadrados	1 metro cuadrado	Diferencia	Porcentaje
A	MURO ALBAÑILERIA e=14 CMS. 29X14X7,1 DE SOGA	233.340	38.890	0	0%
B	MURO ALBAÑILERIA e=14 CMS. 29X14X7,1 DE SOGA CON REBAJE TRIANGULAR	198.968	33.161	5.729	-14,73%
C	MURO ALBAÑILERIA e=14 CMS. 29X14X7,1 DE SOGA CON REBAJE RECTANGULAR	205.674	34.279	4.611	-11,86%
D	MURO ALBAÑILERIA e=14 CMS. 29X14X11,3 DE SOGA	241.221	40.204	0	0%
E	MURO ALBAÑILERIA e=14 CMS. 29X14X11,3 DE SOGA CON REBAJE TRIANGULAR	214.516	35.753	4.451	-11,07%
F	MURO ALBAÑILERIA e=14 CMS. 29X14X11,3 DE SOGA CON REBAJE RECTANGULAR	218.736	36.456	3.747	-9,32%
G	MURO METALCON e=12 CMS. CON CUBIERTA DE YESO-CARTON, Y RELLENO CON LANA DE VIDRIO	255.889	42.648	9.487	+22,24%
H	MURO DE MADERA e=12 CMS. CON CUBIERTA DE YESO-CARTON, Y RELLENO CON LANA DE VIDRIO	250.304	41.717	8.556	+20,51%

Fuente: Elaboración propia (2017).

En la tabla 5.19, la columna “Diferencia” corresponde a la resta del valor de metro cuadrado de muro de albañilería de sogas menos el valor del metro cuadrado de muro de albañilería sin tendel (con rebaje triangular y rebaje rectangular respectivamente). La columna “Porcentaje” corresponde a la diferencia del costo del metro cuadrado de cada uno de los muros propuestos en relación al costo de muros de albañilería de sogas convencionales, tanto para ladrillos 7E y 11E respectivamente. Para el caso de los muros de metalcon y de madera la diferencia y el porcentaje van en relación al MURO ALBAÑILERIA e=14 CMS. 29X14X7,1 DE SOGA CON REBAJE TRIANGULAR.

Se distingue que los muros de albañilería construidos con ladrillos con rebaje triangular poseen un menor costo por metro cuadrado. En donde el metro cuadrado de muro de albañilería construidos con “ladrillos 7E con rebaje triangular” poseen un 14,73% menos del valor del metro cuadrado de muro de albañilería construido con “ladrillo 7E sin modificar”. Y para el caso de los muros de albañilería construidos con “ladrillos 11E con rebaje triangular” poseen un 11,07% menos del valor del metro cuadrado de muro de albañilería construido con “ladrillo 11E sin modificar”.

También se observa que el metro cuadrado de tabique de metalcon es un 22,24% más caro que un metro cuadrado de MURO ALBAÑILERIA e=14 CMS. 29X14X7,1 DE SOGA CON REBAJE TRIANGULAR, y para el caso del metro cuadrado de madera, este es un 20,51% más caro que el anteriormente señalado.

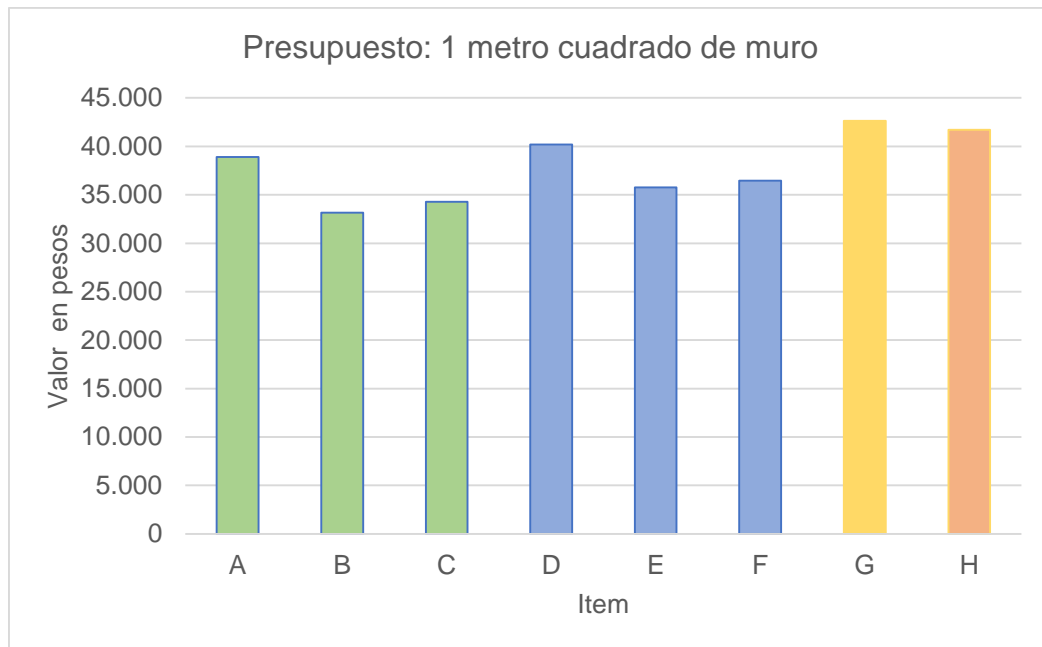


Figura 5.9: Grafico: presupuesto de 1 metro cuadrado de muro divisorio
Fuente: Elaboración propia (2017).

6. Conclusiones

En orden a los objetivos específicos que se nombraron en el punto 1.3.2 para establecer una conclusión final, esta se divide en evaluación técnica y en análisis de costos. Para el caso de la evaluación técnica, se divide en 3 partes:

6.1 Grado de los ladrillos

Los datos obtenidos de los ensayos de unidades se obtuvieron que tanto los ladrillos con rebaje rectangular como triangular cumplen con lo que establece la norma NCh169, ya que todos los ladrillos modificados entran en la clase y el grado requerido para ser utilizados en la construcción de muros de albañilería confinada.

Los ensayos de resistencia a la compresión de las unidades y los ensayos de adherencia de cizalle demostraron que los ladrillos modificados no toleran una carga mayor o igual a la de los ladrillos sin modificar, sin embargo, los ladrillos modificados poseen características para ser utilizados, destacando también que en el ensayo de resistencia a la compresión la falla de rotura sigue siendo en las caras del ladrillo, de manera similar a la de los ladrillos sin modificar.

6.2 Permeabilidad de los muros

En cuanto a los ensayos de permeabilidad, el agua nunca penetra hasta la otra cara del muro, no obstante, se concluye que la construcción de muros de albañilería sin tendel construidos de ladrillos con rebaje, solo es factible su construcción en zonas secas o con escasas de lluvia, ya que en los ensayos el agua se introdujo rápidamente en el interior del murete a través de las perforaciones del ladrillo o también, pueden ser utilizados para muros no estructurales (tabiquería).

Si bien el hecho de que no exista tendel hace referencia a que los ladrillos quedan en contacto, genera incertidumbre debido a que los ladrillos no son homogéneos teniendo diferencias milimétricas en sus diferentes caras, diferencias que son aceptadas por la norma NCh169 bajo ciertos parámetros. Lo anteriormente señalado se desmiente según los datos obtenidos al medir los muretes construidos con los ladrillos con rebaje y diferentes muros de albañilería de viviendas, en donde la dispersión de las medidas de los muretes con ladrillos modificados es baja, incluso, más baja que la dispersión obtenida de las medidas de los muros de albañilería tradicional.

6.3 Resistencia de los muros

. Según los datos obtenidos y el análisis realizado de los ensayos de murete y prisma, se establece, que construir muros de albañilería confinada con los ladrillos propuestos no es aceptable para la construcción de muros estructurales, ya que los resultados muestran que los muretes y los prismas confeccionados con ladrillos modificados, tanto rectangular como triangular, soportan una menor resistencia en comparación a los ensayos realizados con los ladrillos sin modificar. Sin embargo, los muros de albañilería sin tendel pudiesen ser utilizados como muros no estructurales, es decir; como tabiques o muros divisorios.

6.4 Análisis de costos

Con los presupuestos realizados, se llegó a la conclusión de que los muros de albañilería sin tendel con ladrillos con rebaje (triangular o rectangular) poseen un menor costo que los muros de albañilería convencional, esto bajo la premisa de que los ladrillos propuestos vienen modificados de fábrica y a un costo de adquisición igual a los ladrillos normales.

Finalmente, respondiendo al objetivo general, que es realizar una evaluación técnica de muros de albañilería sin tendel con ladrillos modificados; se establece; que no es eficaz construir, con los ladrillos propuestos, muros de albañilería que estén bajo cargas verticales, es decir no son aptos para la construcción de muros estructurales, esto debido a que las características mecánicas de estos muros no alcanzan a ser mejores o iguales a las características mecánicas de los muros de albañilería contruidos con ladrillos convencionales. Sin embargo, con todos los ensayos y resultados de esta investigación, no bastan para establecer una conclusión final respecto a la factibilidad de los muros de albañilería sin tendel. Cabe señalar que se debe dar mayor énfasis a estudios de albañilería sin tendel con ladrillos de mayor altura, es decir, con ladrillos 11E, ya que estos presentaron menores diferencias en cuanto a los resultados obtenidos entre ladrillos normales y ladrillos modificados.

Junto con lo anteriormente, se establece que los muros de albañilería sin tendel contruidos con los ladrillos propuestos, pueden ser utilizados para la construcción de muros que no estén expuestos a fuerzas verticales (como lo es la sobrecarga), como muros de tabiquería o muros divisorios.

7. Bibliografía

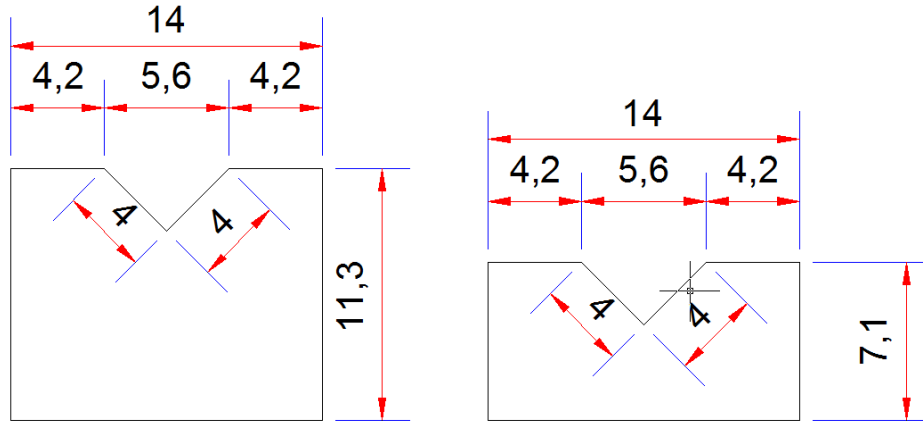
- 2256/1 NCh. (2001). Morteros - Parte 1: Requisitos generales. Chile.
- 2261 NCh. (1996). Morteros - Determinación de las resistencias mecánicas de probetas confeccionadas en obras. Chile.
- Barera, H. (2002). Estudio de los morteros de junta según NCh 2256/1 bajo la óptica de la adherencia. Universidad de Santiago de Chile.
- Casati, M. J., Monteagudo, S., & Gálvez, J. C. (2013). Influencia del espesor de la junta de mortero en muros de ladrillo sometidos a esfuerzos de compresión. Colombia: XII Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción.
- Ceramics Santiago. (2014). Ladrillo Santiago Estructural.
- Ghazi Wakili, K., & Tanner, C. (2003). U-value of a dried wall made of perforated porous clay bricks: Hot box measurement versus numerical analysis. *Energy and Buildings*, 35(7), 675–680. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00209-8](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00209-8)
- Holmberg F, A., & Araneda R, M. (2007). Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural ALBAÑILERÍA EN CHILE. V Simposio Nacional de Ingeniería Estructural en la vivienda.
- ICH. (2010). Manual_del_Albanil. Instituto del cemento y del hormigon de Chile.
- Industrias-Princesas. (s. f.). Recomendaciones para la ejecución de canterías. Biblioteca Técnica.
- INE. (2004). Anuario de Edificación.
- Mohammed, A., Hughes, T. G., & Mustapha, A. (2011). The effect of scale on the structural behavior of masonry under compression. *Construction and Building Materials*, 25, 303–307.
- Monteagudo, S. (2010). Análisis estructural de muros de fábrica mediante ensayos no destructivos. Universidad Politécnica Madrid.
- Moya, A. (2002). Estudio de los daños del terremoto de Chillán 1939. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.
- NCh167. (2001). Construcción - Ladrillos cerámicos - Ensayos. Inn.
- NCh168. (2001). Construcción - Ladrillos dimensional y geométrica cerámicos Verificación. Inn.
- NCh169. (2001). Construcción - Ladrillos cerámicos - Clasificación y requisitos. Inn.
- NCh1928. (2003). Albañilería armada - Requisitos para el diseño y calculo. Inn.
- NCh2123. (2003). Albañilería confinada - Requisitos de diseño y calculo. Inn.
- Niebel, B., & Freivalds, A. (2001). ingeniería industrial: Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo. México: Editorial: Alfaomega México.
- Niemann, J. (2002). Reglas y escantillones para albañilería. DuocUC.
- Reyes, E., Casati, M. J., & Gálvez, J. C. (2008). Cohesive crack model for mixed mode fracture of brick masonry. *Int. J. of Fracture*, 151, 29–55.

- Reyes, E. et al. (2009). An embedded cohesive crack model for finite element analysis of brickwork masonry. *Eng. Fract. Mech*, 76, 1930–1944.
- Serpell, A. (2002). Administración de operaciones de construcción. Mexico.
- Valdés, H. B., Rojas, M. D., & Pineda, J. P. (2005). Influencia de la forma de colocacion del mortero, en las propiedades mecanicas de la albañileria de ladrillos. Santiago, Chile: XV Jornadas Chilenas del Hormigón.
- Winters, I. (2008). Manometro de acero inoxidable PFQ-ZR.
- Zavala, C. et al. (2006). Gruia para la construccion con albañileria. Lima, Peru: Universidad nacional de ingeniería.

8. Anexos

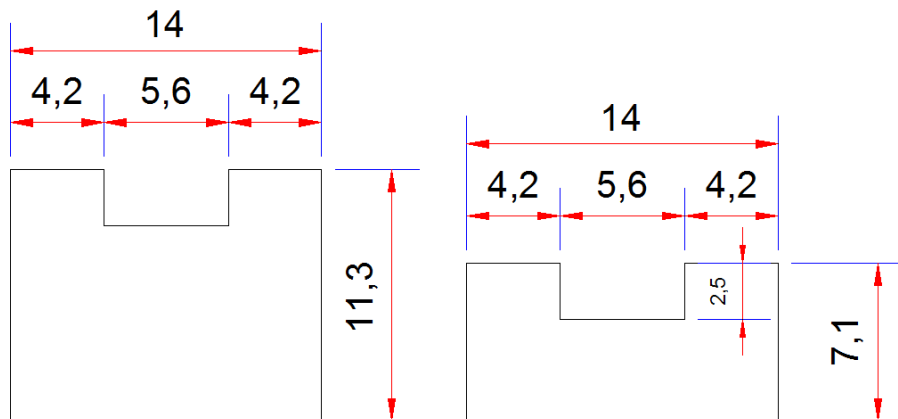
8.1 Anexo A

Figura 8.1: Dimensiones del rebaje triangular ladrillo 11E y 7E



Fuente: Elaboración propia (2017).

Figura 8.2: dimensiones del rebaje rectangular ladrillo 11E y 7E



Fuente: Elaboración propia (2017).

8.2 Anexo B

8.2.1 Ensayo resistencia a la compresión

A continuación, se presentan los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de las unidades.

Tabla 8.1: Ensayo compresión ladrillo 7E normal

N°	Carga máxima (N)	A. neta (mm ²)	Resistencia (Mpa)
1	420.905	40.600	10,4
2	548.698	40.600	13,5
3	527.674	40.600	13,0
4	498.757	40.600	12,3
5	541.163	40.600	13,3
6	487.779	40.600	12,0
			12,4

Fuente: Elaboración propia (2017).

Tabla 8.2: Ensayo compresión ladrillo 11E normal

N°	Carga máxima (N)	A. neta (mm ²)	Resistencia (Mpa)
1	395.863	40.600	9,8
2	459.078	40.600	11,3
3	434.466	40.600	10,7
4	408.204	40.600	10,1
5	443.435	40.600	10,9
6	542.310	40.600	13,4
			11,0

Fuente: Elaboración propia (2017).

Tabla 8.3: Ensayo compresión ladrillo 7E con rebaje triangular

N°	Carga máxima (N)	A. neta (mm ²)	Resistencia (Mpa)
1	427.004	32.480	13,1
2	398.877	32.480	12,3
3	491.437	32.480	15,1
4	397.658	32.480	12,2
5	527.242	32.480	16,2
6	360.561	32.480	11,1
			13,4

Fuente: Elaboración propia (2017).

Tabla 8.4: Ensayo compresión ladrillo 11E con rebaje triangular

N°	Carga máxima (N)	A. neta (mm ²)	Resistencia (Mpa)
1	473.931	32.480	14,6
2	434.753	32.480	13,4
3	417.389	32.480	12,9
4	342.551	32.480	10,5
5	392.132	32.480	12,1
6	389.980	32.480	12,0
			12,6

Fuente: Elaboración propia (2017).

Tabla 8.5: Ensayo compresión ladrillo 7E con rebaje rectangular

N°	Carga máxima (N)	A. neta (mm ²)	Resistencia (Mpa)
1	424.779	32.480	13,1
2	584.646	32.480	18,0
3	442.358	32.480	13,6
4	325.689	32.480	10,0
5	511.386	32.480	15,7
6	470.989	32.480	14,5
			14,2

Fuente: Elaboración propia (2017).

Tabla 8.6: Ensayo compresión ladrillo 11E con rebaje rectangular

N°	Carga máxima (N)	A. neta (mm ²)	Resistencia (Mpa)
1	374.983	32.480	11,5
2	517.340	32.480	15,9
3	391.415	32.480	12,1
4	338.675	32.480	10,4
5	397.944	32.480	12,3
6	377.710	32.480	11,6
			12,3

Fuente: Elaboración propia (2017).

8.2.2 Ensayo de absorción

A continuación, se presentan los resultados de los ensayos de absorción de las unidades.

Tabla 8.7: Ensayo absorción ladrillo 7E sin rebaje

Unidad	P1 (g)	P2 (g)	Absorción
1	2591,8	2841	9,61%
2	2587,7	2839,8	9,74%
3	2595,9	2845,7	9,62%
4	2644,2	2906,8	9,93%
5	2634,8	2911,6	10,51%
6	2582,6	2832,3	9,67%
			9,85%

Fuente: Elaboración propia (2017).

Tabla 8.8: Ensayo absorción ladrillo 11E sin rebaje

Unidad	P1 (g)	P2 (g)	Absorción
1	4267,2	4751,6	11,35%
2	4250,2	4745,5	11,65%
3	4366	4751,5	8,83%
4	4243,8	4743,3	11,77%
5	4280,7	4768,5	11,40%
6	4234,6	4721,3	11,49%
			11,08%

Fuente: Elaboración propia (2017).

Tabla 8.9: Ensayo absorción ladrillo 7E con rebaje triangular

Unidad	P1 (g)	P2 (g)	Absorción
1	2505,1	2759,9	10,17%
2	2502,4	2757	10,17%
3	2486,1	2741,6	10,28%
4	2510,1	2772,3	10,45%
5	2492,7	2756	10,56%
6	2503,6	2762,7	10,35%
			10,33%

Fuente: Elaboración propia (2017).

Tabla 8.10: Ensayo absorción ladrillo 11E con rebaje triangular

Unidad	P1 (g)	P2 (g)	Absorción
1	3991	4423,9	10,85%
2	4040,4	4477,3	10,81%
3	3982,1	4433,7	11,34%
4	3998,2	4456,5	11,46%
5	4004,7	4448,1	11,07%
6	3980,7	4440	11,54%
			11,18%

Fuente: Elaboración propia (2017).

Tabla 8.11: Ensayo absorción ladrillos 7E
con rebaje rectangular

Unidad	P1 (g)	P2 (g)	Absorción
1	2384	2630,3	10,33%
2	2483,7	2738,8	10,27%
3	2491,4	2757,3	10,67%
4	2480,6	2735,4	10,27%
5	2372,4	2600,8	9,63%
6	2466,9	2719,9	10,26%
			10,24%

Fuente: Elaboración propia (2017).

Tabla 8.12: Ensayo absorción ladrillos
11E con rebaje rectangular

Unidad	P1 (g)	P2 (g)	Absorción
1	4005	4447	11,04%
2	3993,5	4431,6	10,97%
3	3997,4	4437,8	11,02%
4	3996,6	4438,3	11,05%
5	3986,8	4448,9	11,59%
6	4002,4	4438,8	10,90%
			11,09%

Fuente: Elaboración propia (2017).

8.2.3 Ensayo de adherencia

A continuación, se presentan los resultados de los ensayos de adherencias de cizalle de las unidades.

Tabla 8.13: Ensayo de adherencia ladrillo 7E normal

Unidad	Carga máx. (Kg)	Carga máx. (N)	Sup. De pega (mm ²)	Adherencia (Mpa)
1(3)	2.300	22.555	40.600	0,56
2(3)	2.600	25.497	40.600	0,63
3(3)	1.500	14.710	40.600	0,36
4(3)	2.000	19.613	40.600	0,48
5(3)	2.500	24.517	40.600	0,60
6(3)	1.510	14.808	40.600	0,36
				0,50

Fuente: Elaboración propia (2017).

Tabla 8.14: Ensayo de adherencia ladrillo 11E normal

Unidad	Carga máx. (Kg)	Carga máx. (N)	Sup. De pega (mm ²)	Adherencia (Mpa)
1(3)	3.450	33.833	40.600	0,83
2(3)	3.100	30.401	40.600	0,75
3(3)	3.900	38.246	40.600	0,94
4(3)	2.200	21.575	40.600	0,53
5(3)	3.100	30.401	40.600	0,75
6(3)	3.200	31.381	40.600	0,77
				0,76

Fuente: Elaboración propia (2017).

Tabla 8.15: Ensayo de adherencia ladrillo 7E con rebaje triangular

Unidad	Carga máx. (Kg)	Carga máx. (N)	Sup. De pega (mm ²)	Adherencia (Mpa)
1(3)	1.500	14.710	19.720	0,75
2(3)	1.600	15.691	19.720	0,80
3(3)	1.800	17.652	19.720	0,90
4(3)	1.800	17.652	19.720	0,90
5(3)	1.700	16.671	19.720	0,85
6(3)	1.800	17.652	19.720	0,90
				0,85

Fuente: Elaboración propia (2017).

Tabla 8.16: Ensayo de adherencia ladrillo 11E con rebaje triangular

Unidad	Carga max. (Kg)	Carga max. (N)	Sup. De pega (mm ²)	Adherencia (Mpa)
1(3)	2.200	21.575	19.720	1,09
2(3)	3.200	31.381	19.720	1,59
3(3)	2.100	20.594	19.720	1,04
4(3)	2.200	21.575	19.720	1,09
5(3)	2.900	28.439	19.720	1,44
6(3)	1.700	16.671	19.720	0,85
				1,19

Fuente: Elaboración propia (2017).

Tabla 8.17: Ensayo de adherencia ladrillo 7E con rebaje rectangular

Unidad	Carga máx. (Kg)	Carga máx. (N)	Sup. De pega (mm ²)	Adherencia (Mpa)
1(3)	1.500	14.710	23.490	0,63
2(3)	1.100	10.787	23.490	0,46
3(3)	1.750	17.162	23.490	0,73
4(3)	1.800	17.652	23.490	0,75
5(3)	1.450	14.220	23.490	0,61
6(3)	1.900	18.633	23.490	0,79
				0,66

Fuente: Elaboración propia (2017).

Tabla 8.18: Ensayo de adherencia ladrillo 11E con rebaje rectangular

Unidad	Carga max. (Kg)	Carga max. (N)	Sup. De pega (mm ²)	Adherencia (Mpa)
1(3)	2.750	26.968	23.490	1,15
2(3)	1.850	18.142	23.490	0,77
3(3)	1.700	16.671	23.490	0,71
4(3)	2.100	20.594	23.490	0,88
5(3)	1.850	18.142	23.490	0,77
6(3)	2.800	27.459	23.490	1,17
				0,91

Fuente: Elaboración propia (2017).

8.2.4 Caracterización árido para mortero

Tabla 8.19: Granulometría y módulo de finura de la arena (Dmax 1,25 mm)

Prop. en PESO supuesta Tamiz (mm)	Arena Peso Ret. gr.	Arena % Retenido	Arena % Retenido Acum.	Arena % pasa	Mezcla Banda Granulométrica % pasa	
					Banda 1	Banda 2
9,5	0	0	0	100	100	100
4,75	0,0	0	0	100	100	100
2,36	0,0	0	0	100	100	100
1,18	0,0	0	0	100	95	100
0,6	33,5	34	34	66	50	100
0,3	35,5	36	69	31	15	40
0,15	18,5	19	88	12	2	20
R	12,1	12	100	0		
Masa real	99,6					
Masa inicial	100					
% Error	0,40					
Sumatoria			191	409		
Módulo de finura			1,91	1,91		

Fuente: Elaboración propia (2017).

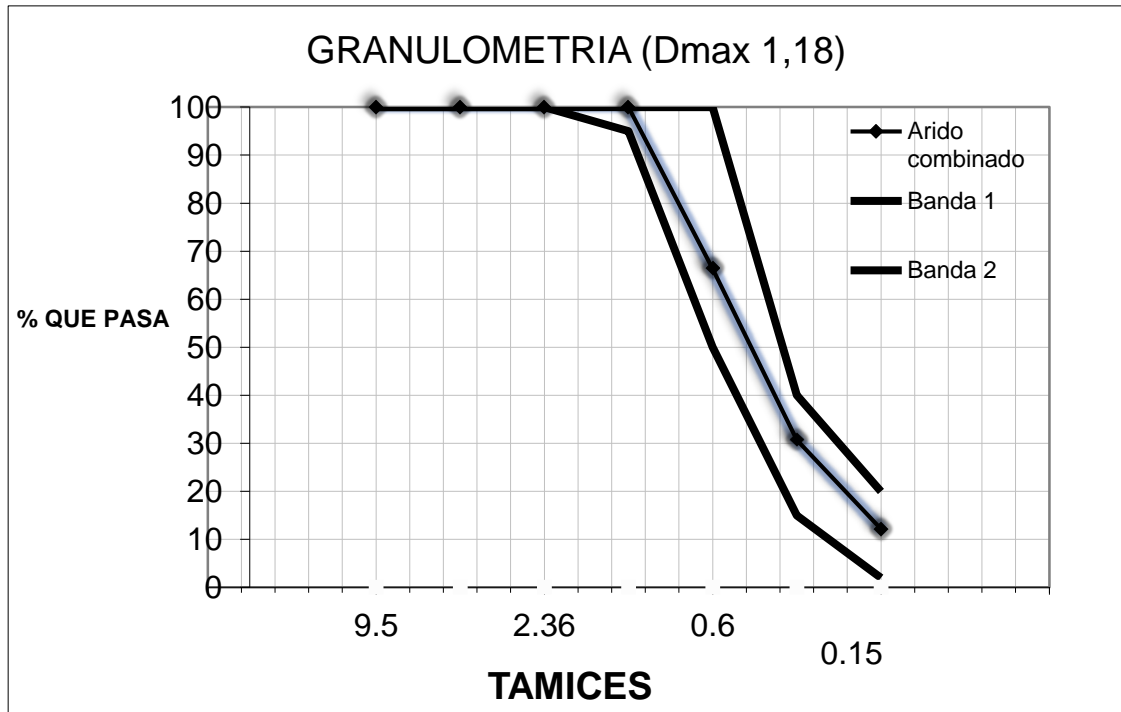


Figura 8.3: Grafico de granulometría

Fuente: Elaboración propia (2017).



Figura 8.4: Ensayo de granulometría (Arena Dmax 1,25 mm)

Fuente: Elaboración propia (2017).

Muestra	Masa seca (g)	Masa SSS (g)	Masa matraz con agua (g)	Masa matraz con muestra y agua (g)	dRSSS (Kg/lt)	dRS (Kg/lt)	DN (Kg/lt)	Absorción del agua
ensayo 1	98,9	100	684,1	746,3	2,65	2,62	2,69	1,11%
ensayo 2	99,5	100	685,1	746,3	2,58	2,56	2,60	0,50%
					2,61	2,59	2,65	1%

Tabla 8.20: Ensayo densidad seca

Fuente: Elaboración propia (2017).

Tabla 8.21: Ensayo densidad absoluta compactada y absoluta suelta

Muestras gemelas	Masa árido compactado (g)	masa árido suelto (g)	Medida	Volumen medida	densidad compactada (Kg/lt)	densidad suelta (Kg/lt)
ensayo 1	3,0905	2,909	1,5114	1,003	1,57	1,39
ensayo 2	3,1081	2,9067	1,5114	1,003	1,59	1,39
					1,58	1,39

Fuente: Elaboración propia (2017).

8.2.5 Dosificación del mortero M17

Tabla 8.22: Dosificación del mortero

R (A/C)	0,694	fp: Resistencia especificada	170
Agua (lt/m3)	424	fd: Resistencia de diseño	208,46
Cemento (Kg/m3)	611	Módulo de finura	1,91
Huecos (lt/m3)	50		
Cal (Kg/m3)	0		
Arena (Kg/m3)	841		

Nivel de confianza	t
95%	1,645
90%	1,282
85%	1,036
80%	0,842

S	30	kg/cm2
S	50	kg/cm2

Fuente: Elaboración propia (2017).

8.2.6 Resistencia del mortero M17

Tabla 8.23: Resistencia mortero con tamaño máximo 2,5 mm

Ensayo (7 días)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm²)	Resistencia (Mpa)
Compresión 1	1572,71	98,29	9,83
Compresión 2	1953,16	122,07	12,21
Flexión	150,61	35,24	3,52
Ensayo (28 días)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm²)	Resistencia (Mpa)
Flexión 1	187,53	43,88	4,39
Flexión 2	204,15	47,77	4,78
Compresión 1.1	2333,5	145,84	14,58
Compresión 1.2	2370	148,13	14,81
Compresión 2.1	3365	210,31	21,03
Compresión 2.2	2553	159,56	15,96

	Resistencia promedio 7 días en Mpa
Flexión	3,52
Compresión	11,02
	Resistencia promedio 28 días en Mpa
Flexión	4,58
Compresión	16,60

Fuente: Elaboración propia (2017).

Tabla 8.24: Resistencia mortero con tamaño máximo 1,25 mm

Ensayo (7 días)	Carga (N)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm²)	Resistencia (Mpa)
Compresión 1	19871	2026,28	126,64	12,66
Compresión 2	19440	1982,33	123,90	12,39
Flexión	1716	174,98	40,95	4,09
Ensayo 28 días	Carga (N)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm²)	Resistencia (Mpa)
Flexión 1	2379,00	242,59	56,77	5,68
Flexión 2	2068,00	210,88	49,35	4,93
Compresión 1.1	23314,00	2377,37	148,59	14,86
Compresión 1.2	28766,00	2933,32	183,33	18,33
Compresión 2.1	30057,00	3064,96	191,56	19,16
Compresión 2.2	25036,00	2552,96	159,56	15,96

	Resistencia promedio 7 días en Mpa
Flexión	4,09
Compresión	12,53
	Resistencia promedio 28 días en Mpa
Flexión	5,30
Compresión	17,07

Fuente: Elaboración propia (2017).

8.2.7 Dosificación de mortero M15

Figura 8.5: Dosificación de mortero

R (A/C)	0,699	fp: Resistencia especificada	150
Agua (lt/m³)	396	fd: Resistencia de diseño	188,46
Cemento (Kg/m³)	566	Módulo de finura	1,91
Huecos (lt)	50		
Arena	955		

Nivel de confianza	t		
95%	1,645	S	30 kg/cm ²
90%	1,282	S	50 kg/cm ²
85%	1,036		
80%	0,842		

Fuente: Elaboración propia (2017).

Figura 8.6: Resistencia de mortero con tamaño max. 1,25 mm.

Ensayo (7 días)	Carga (N)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm²)	Resistencia (Mpa)
Compresión 1	18.192	1.855	116	12
Compresión 2	18.458	1.882	118	12
Flexión	1.613	164	38	4
Ensayo 28 días	Carga (N)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm²)	Resistencia (Mpa)
Flexión 1	2.064	210	49	5
Flexión 2	1.988	203	47	5
Compresión 1.1	22.504	2.295	143	14
Compresión 1.2	24.653	2.514	157	16
Compresión 2.1	24.813	2.530	158	16
Compresión 2.2	27.920	2.847	178	18

Resistencia promedio 7 días en Mpa	
Flexión	3,85
Compresión	11,68
Resistencia promedio 28 días en Mpa	
Flexión	4,83
Compresión	15,92

Fuente: Elaboración propia (2017).



Figura 8.7: Ensayo de flexión y compresión de mortero

Fuente: Elaboración propia (2017).



Figura 8.8: ensayo mesa de sacudida

Fuente: Elaboración propia (2017).

8.3 Anexo C

Tabla 8.25: Dimensiones de las caras de los prismas

	h1 (cm)	h2 (cm)	h3 (cm)	h4 (cm)	e1 (cm)	e2 (cm)	l1 (cm)	l2 (cm)
Pt1	42,6	42,6	42,6	42,7	14	14,1	29	29
Pt2	42,5	42,6	42,6	42,6	13,9	14	29,1	29
Pt3	42,6	42,6	42,6	42,6	14	14,1	29,1	29,1
Pt4	42,7	42,7	42,7	42,7	14,1	14,1	28,9	29
Pt5	42,7	42,7	42,7	42,6	14	14	28,9	28,9
PT1	45,1	44,8	45	45,2	14	14	29,1	29,1
PT2	45,5	45,5	45,5	45,4	14,1	14,1	29	29
PT3	45,4	45,4	45,4	45,5	14,2	14,2	29,2	29,1
PT4	45,5	45,5	45,5	45,5	14	14,1	29	29
PT5	45,5	45,5	45,6	45,6	14	14	29	29
Pr1	42,8	42	42,7	42,7	14	14	29	29
Pr2	42,8	42,8	42,7	42,7	14	14	29	29
PR1	45,2	45,2	45,1	45,2	14,1	14,1	28,9	29
PR2	45,3	45,3	45,2	45,2	14	14,1	29,3	29,3
Pn1	45,6	45,6	45,7	45,7	14	14,1	29,2	29,2
Pn2	46,2	46,1	46,2	46,3	14	14	28,9	28,9
PN1	46,8	47	46,9	47	13,9	13,9	29,2	29,2
PN2	46,8	47	46,8	46,9	14,1	14,1	29,2	29,2

Fuente: Elaboración propia (2017).

Tabla 8.26: Dimensiones de las caras de los muretes

Muerete	e1 (cm)	e2 (cm)	l1 (cm)	l2 (cm)	l3 (cm)	l4 (cm)	h1 (cm)	h2 (cm)	h3 (cm)	h4 (cm)
Mt1	14	13,9	67,8	67,8	67,7	67,7	61	60,6	61,3	61,3
Mt2	14	13,8	68,1	68,1	67,9	67,8	59,9	59,4	59,8	60
Mt3	14	13,8	67,7	67,5	67,5	67,3	59,3	59,5	60	60
Mt4	14	13,6	68	68	68,2	68,2	60,6	59	59,5	59,7
Mt5	14	13,8	68	68	68,3	68,4	59,7	60,2	59	59,3
MT1	14	13,6	64,5	64,5	65	64,5	60,5	60,3	60	60
MT2	13,7	14	63,5	63,7	63,6	63,5	60,3	61,3	60,5	60,5
MT3	13,7	13,9	63,8	63,8	64	63,5	59,8	60,1	60,3	60,3
MT4	13,6	13,6	64,1	63,9	64	63,9	60	60	60,2	60
MT5	13,6	13,5	64,8	64	64,5	64,4	60,9	61,2	61	61
Mr1	14,1	13,7	64	63,8	64,4	63,9	59,5	59,7	60	60,4
Mr2	13,9	13,9	64	64,2	63,8	63,8	59,4	60,2	59	59,5
MR1	13,6	13,8	67,6	68	67,8	68	60,8	60,8	60,4	60,9
MR2	13,8	14	68,3	68	68	68,1	60	60,2	59,9	60
Mn1	14	13,8	61,8	62,7	62,1	62,3	60,3	60,2	60,3	60,4
Mn2	13,6	13,4	63,4	63,6	63	63	60,1	60	60,9	60,4
MN1	13,8	13,5	58,9	58,5	59,2	59	59,9	59,8	60,4	59,5
MN2	14	13,6	59,7	59,7	59,5	59,7	59,5	59,9	59,9	59,7

Fuente: Elaboración propia (2017).

8.4 Anexo D

Manómetro Winters PFQ-ZR

Dial: 2,5" (63mm).

Conexión: ¼" NPT.

Presión: 0 – 10.000 PSI.

Tabla 8.27: especificación técnica del manómetro utilizado

Manómetro de Acero Inoxidable StabilizR™
PFQ-ZR



Descripción & Características:

- El sistema StabilizR™ disminuye los efectos de la pulsación y de la vibración sin glicerina
- Orificio restrictor estándar en la escala dual
- Aro bayoneta
- Interiores de latón
- Escala dual (psi/kPa)
- Brida en U y pestañas frontales para montaje en panel
- Cumple con la normativa ASME B40.100 (EN837-1 también disponible)
- Registrado en CRN
- 5 años de garantía

Aplicaciones:

- Ideal para bombas, compresores, prensas hidráulicas, maquinarias y motores que operan bajo condiciones severas

Especificaciones	
Carátula	2.5" (63mm), 4" (100mm) de aluminio con escritura roja y negra
Carcasa	Acero inoxidable 304
Lente	Policarbonato
Aro	Acero inoxidable 304 engarzado
Zócalo	Latón
Conexión	1/4" o 1/2" NPT
Tubo Bourdon	Bronce
Movimiento	StabilizR™ de bronce (silicona dentro de la cámara sellada)
Aguja	Negra de aluminio anodizado
Límite de Sobrepresión	25% para presión hasta 1,450 psi (9,998 kPa) 15% para presión de más de 1450 psi (9,998 kPa)
Sello del Zócalo	Buna N para el zócalo interno de dos piezas
Tapón	Buna N
Sello del Lente	Goma de silicona
Presión operativa	75% de valor de escala
Temperatura Ambiente/de Procesos	-40°F hasta 200°F (-40°C hasta 93°C)
Exactitud	±1.5% de fondo de escala
Índice de Protección	IP65

Fuente: (Winters, 2008)

8.5 Anexo E

Tabla 8.28: Presupuesto muro de tabiquería de metalcon

MURO METALCON e=12 CMS. CON CUBIERTA DE YESO-CARTON, Y RELLENO CON LANA DE VIDRIO					
Maquinaria y herramientas					
Tipo de maquinaria y capacidad	Cantidad	Valor de adquisición			Total
Talador atornillador inalámbrico	1	68.390			68.390
Cuchillo cartonero	1	3.590			3.590
Martillo de disparo Hilti (arriendo/día)	2	5.090			10.180
Arco de sierra 12"	1	11.590			11.590
Nivel aluminio 24"	1	7.190			7.190
Huinchita para medir 8 m	1	11.690			11.690
Plomada 225gr	1	7.390			7.390
					120.020
Materiales					
Materiales	Cantidad	Unidad	Valor de adquisición	Total	
Perfil C 60x38x0,5mm 2.4 ml	6	Un	1.191	7.144	
Perfil U 61x20x0,5mm 3 ml	2	Un	1.207	2.414	
Plancha yeso-cartón 15mm 120x240cm	10	Un	5.030	50.301	
Autoperforante cabeza lenteja 8X1/2	1	Un	2.422	2.422	
Clavo disparo SDM 3,7x63mm 10 Un.	1	Un	1.855	1.855	
Tornillo yeso-cartón 6x1"5/8 200 Un.	1	Un	1.434	1.434	
Masilla para junta 1 kg	2	Un	1.690	3.380	
Cinta de fibra de vidrio 50mm x 20mt.	1	Un	890	890	
Lana de vidrio 60mm 0,6x12ml	1	Un	28.342	28.342	
					98.181
Mano de obra					
Faena	Cantidad	Meses	\$/mes	L. sociales	Total
Maestro	1	1	650.000	975.000	29.250
Ayudante	0,5	1	375.000	562.500	8.438
					37.688
Costo directo					
Total					
6 metros cuadrados					255.889
1 metro cuadrado					42.648

Fuente: Elaboración propia (2017).

Tabla 8.29: Presupuesto muro de tabiquería de madera

MURO DE MADERA e=12 CMS. CON CUBIERTA DE YESO-CARTON, Y RELLENO CON LANA DE VIDRIO					
Maquinaria y herramientas					
Tipo de maquinaria y capacidad	Cantidad	Valor de adquisición			Total
Talador atornillador inalámbrico	1	68.390			68.390
Cuchillo cartonero	1	3.590			3.590
Arco de sierra 12"	1	11.590			11.590
Nivel aluminio 24"	1	7.190			7.190
Huinchita para medir 8 m	1	11.690			11.690
Plomada 225gr	1	7.390			7.390
					109.840
Materiales					
Materiales	Cantidad	Unidad	Valor de adquisición	Total	
Pino cepillado seco 2x3" x 3,2 m.	6	Un	2.130	12.780	
Pino impregnado 2x3" x 3,2 m.	1	Un	2.590	2.590	
Yeso cartón	10	Un	5.030	50.301	
Clavos 2" 1/2 500 gr	1	Un	740	740	
Hilo 3/8 1 metro	1	Un	4.590	4.590	
Tornillo punta fina	1	Un	1.434	1.434	
Lana de vidrio	1	Un	28.342	28.342	
Tuerca hexagonal 3/8 2 un	2	un	1.000	2.000	
					102.777
Mano de obra					
Faena	Cantidad	Meses	\$/mes	L. sociales	Total
Maestro	1	1	650.000	975.000	29.250
Ayudante	0,5	1	375.000	562.500	8.438
					37.688
Costo directo					
Total					
6 metros cuadrados					250.304
1 metro cuadrado					41.717

Fuente: Elaboración propia (2017).

8.6 Anexo F

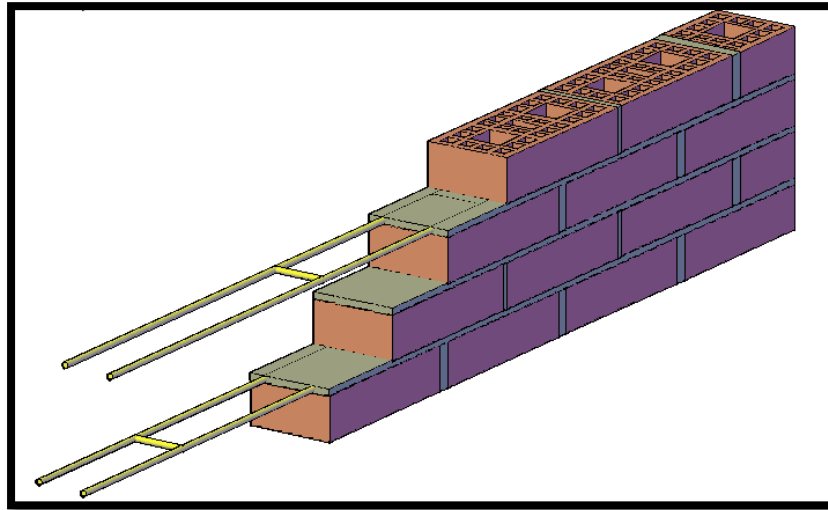


Figura 8.9: Bosquejo muro de albañilería con escalera Acma

Fuente: Elaboración propia (2017).

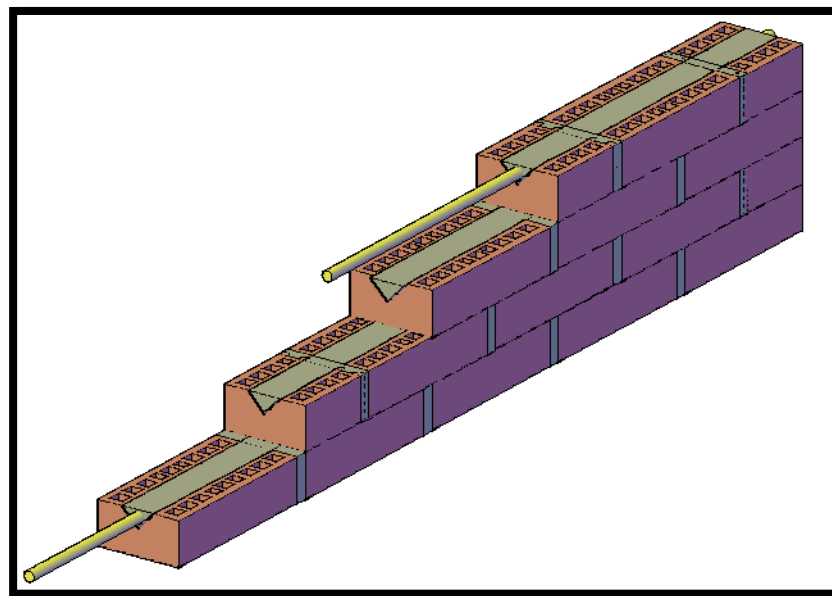


Figura 8.10: Bosquejo muro de albañilería sin tendel con armadura fi 8 como escalera

Fuente: Elaboración propia (2017).

8.7 Anexo G

Figura 8.11: Ficha técnica trompo utilizado para confección de mortero

Ficha técnica	
Trompo volteo 120 litros 1 HP Bauker	
Atributo	Detalle
Marca	Bauker
Modelo	XH-PCM130
Alto	132 cm
Largo	124 cm
Procedencia	China
Alimentación	Red eléctrica
Voltaje	220 V
Potencia	1 HP
Ruedas	Si
Tolva	Metal
Volumen del tambor	130 lt
Peso	55.5 kg
Uso	Profesional
Características	Diseñado especialmente para la fabricación de morteros y hormigón, con mezcla de áridos y cemento.



Fuente: Elaboración propia en base a www.Sodimac.cl (2017).

